

ЗЕМЛЯ И

№ 5 (341)

СЕНТЯБРЬ-ОКТАБРЬ, 2021

космонавтика
астрономия
геофизика

ISSN 0044-3948

ВСЕЛЕННАЯ

**РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ**

**КРЫМСКАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ
им. Э.А. ДИБАЯ ГАИШ МГУ**

**«ЧЕЛОВЕКУ НУЖЕН ЧЕЛОВЕК».
К 100-летию со дня рождения
СТАНИСЛАВА ЛЕМА**

**ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ
НА КАВКАЗЕ: ВИД С МКС
ЗАПАДНЫЙ ПРИКАСПИЙ
ПОД ПРИСТАЛЬНЫМ НАБЛЮДЕНИЕМ
ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ
ИКИ-МОНИТОРИНГ**

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



Уважаемые коллеги!
Открыта подписка для физических лиц
на номера 2021 г. научно-популярных журналов
«Земля и Вселенная», «Природа»,
«Энергия: экономика, техника, экология»

ЖУРНАЛ «ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ»

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1560 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 42-31)

E-mail: zevs@naukaran.com

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ПРИРОДА»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3600 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 41-71)

E-mail: priroda@naukaran.com

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ЭНЕРГИЯ: ЭКОНОМИКА, ТЕХНИКА, ЭКОЛОГИЯ»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3600 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 362-07-82

E-mail: energy@iht.mpei.ac.ru

ул. Красноказарменная, 17а

**Журналы также можно приобрести в розницу в сети
магазинов «Академкнига» по следующим ценам:**

«Земля и Вселенная» — 280 руб.

«Природа» — 320 руб.

«Энергия: экономика, техника, экология» — 320 руб.

**Выпуски и статьи журналов в электронном
виде можно приобрести на сайте libnauka.ru**



СТОИМОСТЬ ОДНОГО ВЫПУСКА/СТАТЬИ ЖУРНАЛА В ЭЛЕКТРОННОМ ВИДЕ, ИЗДАННОГО В 2021 ГОДУ

Журнал	Выпуск (руб.)	Статья (руб.)
«Земля и Вселенная»	229	79
«Природа»	286	79
«Энергия: экономика, техника, экология»	286	79

Подписаться можно в редакциях
указанных журналов.

Убедительная просьба связаться
с редакциями перед визитом.

**В случае возникновения вопросов можно также обращаться
в Управление по выпуску журналов ФГУП «Издательство «Наука»:**

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 43-01)

E-mail: journals@naukaran.com

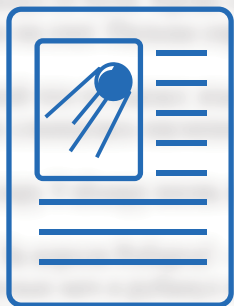


Издательство “Наука” оказывает услуги:

- СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛ-МАКЕТА
 - редактирование
 - вёрстка
 - изготовление рисунков
- ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ
- ВЕСЬ КОМПЛЕКС ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ УСЛУГ
- РАСПРОСТРАНЕНИЕ В РОЗНИЧНОЙ СЕТИ “АКАДЕМКНИГА”

**Высокопрофессиональные специалисты “Науки”
готовы к сотрудничеству**

naukapublishers.ru



НАУКА

www.libnauka.ru

*Добро пожаловать
в электронную библиотечную систему
Издательства «Наука»!*

Электронная библиотечная система Издательства «Наука» – это простой и удобный доступ к огромной коллекции статей и книг, входящих в портфолио «Науки»

Электронная библиотечная система это:

- научная, научно-популярная и классическая литература, от статей до монографий
- оперативное обновление новинок благодаря тесной интеграции с редакционно-издательской системой «Науки»
- разветвленный тематический каталог
- простая и эффективная система поиска
- интуитивная и простая система оформления заказа и подписок
- прозрачная система статистики
- надежность доступа и стабильность работы

Реклама

Присоединяйтесь к миру «Науки»!

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

№5 (341)

СЕНТЯБРЬ-ОКТАБРЬ, 2021

ISSN 0044-3948

космонавтика
астрономия
геофизика

Научно-популярный журнал
Российской академии наук
Издается под руководством
Президиума РАН
Выходит с января 1965 года
6 раз в год
«Наука»
Москва

На стр. 1 обложки:

Земля из космоса, снимок сделан
с Международной космической
станции в ходе эксперимента
"Ураган". Фотография
В.И. Токарева, Экспедиция № 12.
Фотография предоставлена
Институтом географии РАН

В НОМЕРЕ:

Колонка редактора 3
ДЕСИНОВ Л.В. Природные катастрофы на Кавказе: 5
вид с МКС

МЕДВЕДЕВ А.А., АЛЕКСЕЕНКО Н.А., ТЕЛЬНОВА Н.О., 21
КУДИКОВ А.В., КУРАМАГОМЕДОВ Б.М. Западный
Прикаспий под пристальным наблюдением

ЗОРИНА В.В. Объемный рельеф на плоских 38
изображениях: исследуем сели и лавины
по космическим снимкам

ЛУПЯН Е.А., ПРОШИН А.А., БУРЦЕВ М.А. Центр 48
коллективного пользования «ИКИ-мониторинг»:
новые возможности использования технологий
спутникового мониторинга Земли

История космонавтики

ВЕДЕШИН Л.А., ГЕРАСЮТИН С.А. Развитие 63
отечественной метеорологической системы
(к 60-летию начала разработки метеорологических
спутников в СССР)

Обсерватории, институты

КОЛОТИЛОВ Е.А., ТАТАРНИКОВА А.А. Крымская 81
астрономическая станция им. Э.А. Дибая ГАИШ МГУ –
история и перспективы

Литературный космос

САЖИНА О.С. «Человеку нужен Человек» 102
(к 100-летию со дня рождения Станислава Лема)

Table of Content and Selected Abstracts 108

Earth&Universe: Astronomy, Geophysics, Cosmonautics
Bimonthly popular scientific magazine of the Russian Academy of Sciences & NAUKA Publishing.
Founded 1965.

Published by NAUKA Publishing, Profsoyuznaya Str., 90, 117997, Moscow, Russia.

Редакционная коллегия:

главный редактор
академик Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,
летчик-космонавт
П.В. ВИНОГРАДОВ,
зам. главного редактора
кандидат филолог. наук
О.В. ЗАКУТНЯЯ,
доктор исторических наук
К.В. ИВАНОВ,
летчик-космонавт
А.Ю. КАЛЕРИ,
кандидат физ.-мат. наук
О.Ю. ЛАВРОВА,
доктор физ.-мат. наук
А.А. ЛУТОВИНОВ,
зам. главного редактора
доктор физ.-мат. наук
О.Ю. МАЛКОВ,
доктор физ.-мат. наук
И.Г. МИТРОФАНОВ,
академик И.И. МОХОВ,
член-корр. РАН
И.Д. НОВИКОВ,
доктор физ.-мат. наук
С.П. ПЕРОВ,
доктор физ.-мат. наук
К.А. ПОСТНОВ,
доктор физ.-мат. наук
М.В. РОДКИН,
научный директор
Московского планетария
Ф.Б. РУБЛЁВА,
член-корр. РАН
А.Л. СОБИСЕВИЧ,
член-корр. РАН
О.Н. СОЛОМИНА,
член-корр. РАН
В.А. СОЛОВЬЁВ,
академик
А.М. ЧЕРЕПАЩУК,
доктор физ.-мат. наук
В.В. ШЕВЧЕНКО,
член-корр. РАН
Б.М. ШУСТОВ

Editorial Board:

Editor-in-chief
Acad. Dr. Lev M. ZELENYI
Acad. Dr. Anatoly M. CHEREPASCHUK
Dr. Konstantin V. IVANOV
Pilot-cosmonaut Alexander Yu. KALERI
Dr. Olga Yu. LAVROVA
Dr. Alexander A. LUTOVINOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Oleg Yu. MALKOV
Dr. Igor G. MITROFANOV
Acad. Dr. Igor I. MOKHOV
RAS Corr.Member Dr. Igor D. NOVIKOV
Dr. Stanislav P. PEROV
Dr. Konstantin A. POSTNOV
Dr. Mikhail V. RODKIN
Faina B. RUBLEVA
Dr. Vladislav V. SHEVCHENKO
RAS Corr. Member Dr. Boris M. SHUSTOV
RAS Corr. Member Dr. Alexey L. SOBISEVICH
RAS Corr. Member Dr. Olga N. SOLOMINA
RAS Corr. Member Dr. Vladimir A. SOLOVYEV
Pilot-cosmonaut Pavel V. VINOGRADOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Olga V. ZAKUTNYAYA

Колонка редактора

Дорогие читатели, коллеги, друзья!

Спутниковые технологии привели к тому, что XXI век стал новой эпохой Великих географических открытий. Мы впервые можем видеть нашу планету «со стороны» и изучать процессы на Земле на совершенно ином – глобальном уровне.

Новые технологии позволяют количественно оценить направленность и скорости изменений многих процессов на суше, в атмосфере, в Океане, в том числе в отдаленных и труднодоступных районах. Мы видим, как растут мегаполисы, разветвляется дорожная сеть, «зеленеет» тундра, птицы меняют пути перелетов, белые медведи теряют естественную среду обитания из-за сокращения площади морских льдов. Сверху видны и многие нарушения – незаконные вырубки, разливы нефти, выбросы вредных веществ, следы антропогенных пожаров. Часто наблюдения из космоса позволяют заранее получить информацию о потенциальных природных и антропогенных опасностях. Это, если и не позволяет предотвратить катастрофы, то помогает подготовиться к ним, эвакуировать людей и наиболее ценное имущество.

Летом 2021 г. на территории нашей страны такие опасные явления отмечались особенно часто: на огромной площади горели леса в Якутии, до катастрофического повысился уровень Амура, ливни вызвали наводнения в южных городах, на Черноморском побережье, на Кубани. Климатологи утверждают, что многие эти и подобные катастрофические процессы связаны с глобальными изменениями климата, в частности с увеличением концентрации парниковых газов и вследствие этого – ростом температуры воздуха.

В новом, Шестом Докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), который был представлен широкой публике 9 августа 2021 г.¹, рост средней глобальной температуры с середины XIX в. оценивается примерно на 1.1 °C, причем, по оценкам экспертов, температура растёт почти во всех регионах Земли. Теплеет и Океан. Наблюдаемое глобальное повышение температуры приземного воздуха на

0.9–1.2 °C в 2010–2019 гг. намного больше, чем это может объяснить внутренняя изменчивость системы или естественные факторы: орбитальный, солнечная активность и др. Согласно климатическим моделям, антропогенными факторами объясняется потепление в масштабе от 0.8 °C до 1.3 °C.

Продолжается и повышение уровня Океана. Оно происходит из-за теплового расширения воды и из-за потери льда на суше. Первое объясняет 50% повышения уровня (за период 1971–2018 гг.). Вклад в этот процесс таяния ледников за тот же период составил 22%, ледниковых щитов – 20%, а изменения в запасах воды на суше дают еще 8%. В последние десятилетия (с 1992–1999 по 2010–2019 гг.) в четыре раза увеличилась скорость сокращения ледниковых щитов.

Основные выводы, которые представила Комиссия Межправительственной группы экспертов по изменению климата мировому научному сообществу и широкой публике, в этот раз не являются чем-то неожиданным. Скорее, наоборот, они подтверждают прежние выводы об антропогенном характере современного потепления, о котором давно говорят климатологи. Отмечу кстати, что основные факторы, влияющие на климат Земли, были известны уже к концу XIX в. С начала XX в. начали наблюдать за изменением солнечной радиации, вулканической активностью, глобальными биогеохимическими циклами. С 1970-х годов начали исследовать влияние на климат атмосферных аэрозолей, парниковых газов, подстилающей поверхности и особенностей землепользования. Огромную роль в понимании функционирования климатической системы Земли и ее компонентов сыграло развитие методов дистанционного зондирования Земли, которому посвящен этот выпуск журнала. К концу XX в. стало очевидно, что современное человечество превратилось в важнейший фактор, изменяющий глобальный климат Земли.

С чем же связано растущее беспокойство ученых, журналистов и политиков после выхода в свет нового, шестого Доклада? Прежде всего тревогу вызывает тот факт, что потепление происходит по самому пессимистичному сценарию – то есть быстрее и интенсивнее, чем предполагалось еще несколько лет назад. По всей вероятности,

¹ <https://www.ipcc.ch/2021/08/09/ar6-wg1-20210809-pr/>

удержать его в пределах полутора градусов по сравнению с доиндустриальным периодом, как предполагалось согласно Парижскому соглашению, не удастся, и уже через 15 лет этот уровень будет превышен, если объем антропогенных выбросов парниковых газов не изменится.

Если в прошлом Докладе той же Комиссии у специалистов не было количественного подтверждения увеличения частоты и интенсивности экстремальных явлений по мере потепления, то сейчас утверждается, что экстремальные климатические события: волны жары, засухи и экстремальные осадки – при потеплении климата будут случаться все чаще. Даже если выбросы парниковых газов стабилизируются или снизятся, инерционная климатическая система Земли не сможет мгновенно вернуться в свое «доиндустриальное» состояние: нагретый Океан будет продолжать оказывать свое отепляющее воздействие, глобальная температура будет расти, ледники и вечная мерзлота – таять, уровень моря – подниматься.

Не случайно в этом выпуске журнала многие статьи посвящены именно опасным явлениям и их изучению с помощью наблюдений из космоса. О слежении за опасными явлениями на Кавказе с борта Международной космической станции, которое ведется с 2001 г. в рамках программы «Ураган», идет речь в статье Л.В. Десинова. В статье анализируются причины и последствия схода селевого потока в результате переполнения озера Башкара на северном Кавказе, которое случилось ночью 1 сентября 2017 г. Автор этой статьи предостерегает и от возможности схода селей и обвалов в долине реки Мзымты, где в районе горного кластера в ходе строительства олимпийских объектов в 2014 г., по его мнению, было создано более 30 опасных участков. Дальнейшее освоение этого района представляется Л.В. Десинову крайне опасным и угрожающим хрупкому экологическому равновесию этой горной территории. О том, как специалисты изучают селевую и лавинную активность в высокогорьях Кавказа на основе аэрокосмической информации рассказывает и в работе В.В. Зориной.

Пространственное разрешение космических снимков все время увеличивается и сейчас достигает нескольких метров. Если в комбинации с этими данными использовать беспилотные летательные аппараты (БПЛА), наземное лазерное ска-

нирование, GPS-позиционирование и полевые наблюдения, можно достичь сантиметрового разрешения. Опыт таких работ рассматривается в статье А.А. Медведева с соавторами, в которой речь идет о динамике ландшафтов Дагестана – песчаных дюн, бедлендов, береговой линии Каспия.

Авторы статьи о Центре коллективного пользования ИКИ РАН Е.А. Лупян, А.А. Прошин и М.А. Бурцев рассказывают о новых возможностях использования данных дистанционного зондирования на современном этапе. Как они справедливо отмечают, современные технологии дистанционного зондирования отличаются глобальностью зоны наблюдений, объективностью получаемой информации, высокой повторяемостью, воспроизводимостью данных, наличием архивов долговременных непрерывных наблюдений, охватывающих период до 40 лет.

Работа в области дистанционного зондирования требует высокой квалификации. Специалисты этого профиля должны не только разбираться в технологии обработки снимков, но иметь ясное представление о процессах, происходящих на Земле. Таких специалистов очень не хватает, причем не только у нас в стране, но и за рубежом. По этой причине в 2020 г. в Национальном исследовательском университете «Высшая Школа Экономики» был создан факультет географии и геоинформационных технологий, который будет готовить специалистов в области дистанционного зондирования². Программа, которую изучают студенты, называется «Глобальные изменения». Ее основа – природные процессы, происходящие сейчас на Земле в глобальном масштабе с участием человека. Некоторые авторы этого выпуска преподают на этом факультете. Есть надежда, что специалисты новой формации будут уметь в полном объеме пользоваться достижениями современных технологий и понимать процессы, происходящие в реальной географической среде на разном уровне, а также представлять себе последствия, к которым может привести неразумное вмешательство в их ход.

*Ольга Николаевна Соломина,
член-корреспондент РАН,
директор Института географии
Российской академии наук*

² <https://www.hse.ru/ba/geography>
и <https://geography.hse.ru/>

ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ НА КАВКАЗЕ: ВИД С МКС



ДЕСИНОВ Лев Васильевич,

ведущий научный сотрудник

Институт географии Российской академии наук

DOI: 10.7868/50044394821050017

Это – последняя статья Льва Васильевича Десинова, которую он подготовил и сдал в журнал буквально в последние дни своей жизни. 14 августа 2021 года он скончался после тяжелой болезни. Человек слова – таким его помнят коллеги и товарищи. Научный руководитель программы «Ураган» на Российском сегменте МКС, Мастер спорта СССР, Главный судья Чемпионата СССР по туризму, Заслуженный путешественник России, кандидат в один из первых отрядов космонавтов СССР, ведущий сотрудник Института географии РАН.

Среди важных научных экспериментов, которые проводятся на борту Международной космической станции, видное место занимает программа «Ураган» – мониторинг природной среды, экологических бедствий и катастроф. Эта программа была начата в 2001 г. и выполняется под научным руководством Института географии РАН. Сотрудники ИГ РАН ведут прием заявок на съемку, формирование программы исследований, обучение космонавтов по всем задачам, непосредственную связь через Центр управления полетом и по электронной почте, прием

и оперативную обработку поступающих снимков, их географическую «привязку», оперативную передачу важной информации и каталогизацию.

Сегодня фонд космоснимков близок к 600 000 изображений. Космонавты используют полноформатные зеркальные цифровые фотокамеры NikonD5 с эффективным числом пикселей матрицы 36 млн. Фотосъемка выполняется только длиннофокусными объективами. Максимальной детальности при съемках земной поверхности с МКС можно добиться, используя телеобъективы, дающие фокусное расстояние

в 1200 и 1600 мм. Большая часть фотосъемок проводится при наклонной дальности до 500 км при высоте полета МКС над Землей около 400 км.

В нашей статье мы расскажем о двух примерах изучения катастрофических событий в горах, которые свидетельствуют об актуальности и практической значимости программы.

КАТАСТРОФА В ДОЛИНЕ РЕКИ АДЫЛСУ В ПРИЭЛЬБРУСЬЕ

Ночью 1 сентября 2017 г. в горах Кабардино-Балкарии произошла катастрофа: сход мощного селевого потока в результате переполнения озера Башкара, расположенного в Приэльбрусье.

Вода устремила в долину реки Адылсу, захватывая камни и грунт, воздействуя на склоны долины, в результате чего обрушилось несколько участков нижних террас, по которым проходит дорога с асфальтовым покрытием. Селевые массы были вынесены в долину

реки Баксан. Шесть поселков, альплагерей и баз отдыха оказались отрезанными от нормальной жизни. Вертолеты доставляли продукты и вывозили туристов. Было нарушено газоснабжение и энергоснабжение. Погибли 3 человека.

Озеро Башкара находится на северном склоне Главного Кавказского хребта у истока р. Адылсу – правого наиболее крупного притока р. Баксан. Озеро расположено в котловине, огражденной на большей части своего периметра моренным валом, возвышающимся над уровнем озера на 10 м.

Тело ледника непосредственно не соприкасается с озером. Их разделяет вал из рыхлообломочных валунных и гравийных отложений. Площадь зеркала поверхности озера перед катастрофой составляла 60 тыс. м², глубина воды в озере – 32 м, а ее объем – 490 тыс. м³.

Озеро подпитывается атмосферными осадками с его водосборной площади, но главным источником питания является сток с ледника. Отток же воды из озера происходит вследствие

Озеро Башкара 23 августа 2017 г. наполнено до краев. Катастрофа может начаться в любой момент. Фото туристов, автор не известен





Космические фотоснимки озера Башкара, сделанные с МКС до и через 2 дня после катастрофы

фильтрации через ограждающий вал и стока через внутриледниковые каналы и полости.

Прорыв озера неизбежно приводит к возникновению мощного селя, представляющего серьезную угрозу расположенным в русле р. Адылсу объектам инженерной сети, альпинистским лагерям и туристским стоянкам. Ситуация приобретает особую остроту и потому, что наибольшая опасность прорыва озер создается в наиболее жаркие летние месяцы: июль и август, когда ущелье особенно активно посещают отдыхающие и туристы.

Уже с 23 августа озеро Башкара стало объектом повышенного внимания при выполнении программы «Ураган». В этот день туристы сделали серию фотографий и сообщили тревожную информацию о переполненном озере в МЧС Кабардино-Балкарии, а те, в свою очередь, в главный научный центр республики – высокогорный геофизический институт (ВГИ) Росгидромета (г. Нальчик).

Снимок, сделанный 23 августа, был на второй день отправлен в Институт географии для передачи на борт МКС, и 27 августа космонавты сделали

фотоснимки с разрешением на местности около 2 м. До прорыва озера оставалось четыре дня. Однако эти снимки не поступили оперативно из Центра управления полетом в группу анализа Института географии РАН, а запоздали на двое суток в связи с сверхзагрузкой экипажа другими работами.

К сожалению, катастрофа произошла. Главной причиной бедствия оказалось нечеткое взаимодействие подразделений МЧС с другими органами власти Республики Кабардино-Балкария, ответственными за оповещение населения о приближающейся катастрофе и принятии экстренных мер. На следующие дни после катастрофы 2 и 3 сентября космонавтами выполнены повторные фотосъемки долин рек Адылсу и Баксан. Получены изображения высокого качества с разрешением на местности 2–3 м. Снимки оперативно дешифрованы и подвергнуты анализу. Установлены все основные места обрушения склонов и автодорог и частичное разрушение территории оздоровительного лагеря Джантуган с падением в реку восьми небольших строений. В день катастрофы этот лагерь, к счастью, не функционировал.



Долина реки Адылсу после прорыва озера.
Снимок с вертолета



Обрушение фрагмента склона
на правом берегу р. Адылсу возле лагеря
МГТУ им. Н.Э. Баумана «Джантуган».
Снимок с вертолета



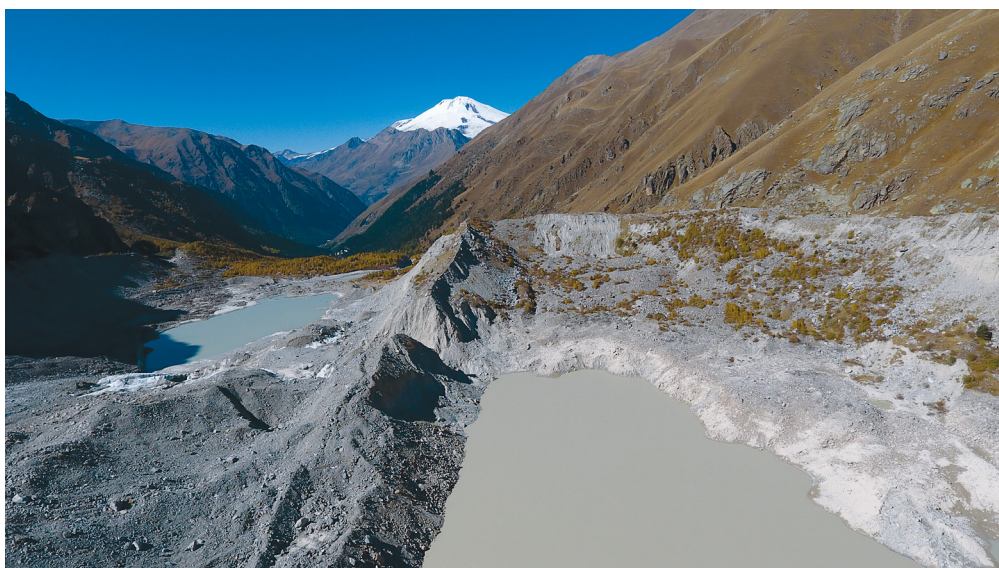
Фрагмент шоссе в долине Адылсу.
Фото Г.А. Носенко

Мы обратились к нашим первым снимкам этого фрагмента гор, которые выполнены в 2002 г. Они показали эпизодическое повышение уровня озера Башкара и нарастание селевой угрозы. О росте вероятности прорыва озера Башкара сообщалось неоднократно в докладах сотрудников Московского государственного университета (МГУ) им. М.В. Ломоносова и ВГИ Росгидромета на научных конференциях и в публикациях. С 2007 г. ими были начаты регулярные маршрутные исследования этого объекта. И на основе расчётов был смоделирован вероятный прорывной паводок из озера Башкара.

В 2008 г. впервые был зафиксирован перелив воды из озера через моренную дамбу, и вероятность прорыва озера оценивалась как высокая. Прорыва не произошло, в месте перелива образовалась каменная отмостка, препятствовавшая дальнейшему размытию русла.

В период 2009–2014 гг. уровень озера Башкара был невысок, и перелива воды через моренную дамбу не происходило, но в 2017 г. уровень резко повысился, перелив отмечался уже с начала июля 2017 г. При полевых и аэровизуальных обследованиях отмечалась фильтрация воды через моренную дамбу. Таким образом, после относительно стабильного периода 2009–2014 гг. вероятность прорыва озера возросла, но тревожных сигналов от наземных наблюдателей в адрес МЧС не поступило, хотя к тому времени изучение динамики уровня озера стали выполнять с помощью приборов, установленных как на его глубине, так и на берегу. Невдалеке установили и метеостанцию. Все измерения проводились 1 раз в 15 минут.

Для оценки ситуации перед прорывом использованы материалы маршрутных обследований сотрудников ВГИ и МГУ, проведенных в июне, июле и во второй половине августа 2017 г. Аэровизуальные обследования и анализ



Озеро Башкара 1 сентября 2017 г. Его уровень упал на 16,5 м. Фото М.Д. Докукина

ситуации после прорыва озера проведены с вертолета с участием тех же людей 1 сентября 2017 г.

Эти обследования позволили выявить изменения на склонах и в русле реки, а также сопоставить ситуацию после прорыва с предыдущими годами. В характерных створах вдоль русла реки была получена информация о расходах прорывного паводка и об объеме вовлечения твердого материала. Измерены ширина и глубина вреза в месте прорыва воды из озера, определены площади поперечных сечений потока и его параметры в нижней части долины р. Адылсу, дана оценка эффективности берегоукрепительных сооружений. В этой работе применялся беспилотный летательный аппарат.

Были установлены причины прорыва озера.

Как правило, пиковые значения уровней отмечались в первой половине лета, а к концу августа уровень воды снижался. В период перед катастрофой уровень воды в озере держался на нехарактерных для конца лета высоких

отметках. На протяжении двух с половиной месяцев наблюдался поверхностный перелив через перемычку: пришло время чрезвычайной ситуации! Теперь было достаточно «небольшой капли, которая переполнит чашу». Однако режим ЧС не объявлялся. И наступила ночь на 1 сентября...

В последний день лета выпали интенсивные и продолжительные дожди. За первую половину дня 31 августа вылилось 45 мм осадков, что привело к подъему уровня в озере на 33 см, а в 20:00 начался дождь аномальной интенсивности, подобного которому за период прямых наблюдений зафиксировано не было. Всего за 5 часов до 1:00 1 сентября сумма осадков составила около 98 мм – три локальных пика с интенсивностью около 40 мм/час.

Уровень воды быстро поднялся: уже за первый час аномального ливня с 20:00 до 21:00 отметка уровня в озере выросла на 12 см, далее, вплоть до прорыва, рост не прекращался. 1 сентября в 01:00 уровень воды в озере был на 55 см (!) выше, чем 31 августа в 20:00.



Проран, оставшийся после прорыва вала. Вода продолжает воздействовать на плотину, которая вновь может быть разрушена. Фото С.С. Черноморца

Столь быстрого роста ранее за период прямых наблюдений не отмечалось.

К 2:00 ночи 1 сентября произошел катастрофический спуск озера на 6 м.

По данным фотосъемки с МКС и наземным материалам был оценен объем селевого паводка. В результате прорыва перемычка была размывта, так как дальнейшее ее углубление было остановлено очень крупными валунами размером до 10 м^3 . К рассвету уровень воды упал на 16.5 м относительно предпрорывного, объем воды в озере уменьшился с 1 млн м^3 до 200 тыс. м^3 . По долине р. Адылсу прошел катастрофический паводок, на отдельных участках переходящий в водокаменный селевой поток. Приток воды в озеро в период аномального ливня мог составить до 220 тыс. м^2 . Еще не менее 50 тыс. м^3 воды было вовлечено в поток при выплеске из расположенных у нижнего края ледника Башкара двух озер.

В долине р. Адылсу добавочный объем воды, вовлеченный в прорывной паводок, состоял из русловых запасов в реке и боковой приточности. Объем твердого материала, вовлеченного в селевой паводок, составил порядка 450 тыс. м^3 , а объем селевого паводка (вода плюс твердые, рыхлые материалы и растительность) – около 1.1 млн м^3 . Приведенные данные основываются на расчетах и моделировании, выполненных учеными МГУ и ВГИ.

Паводок достиг реки Баксан и прошел по ней несколько десятков километров, вызвав местами разрушение дорог, мостов, водоводов, газопровода и линий электропередачи. Максимальные прорывные расходы воды, судя по оставленным на леднике Башкара и в верхней части долины Адылсу следам, могли составить порядка $800 \text{ м}^3/\text{с}$. Заметим, что участки берегов

реки Адылсу, защищенные бетонными стенками, не испытали разрушительного воздействия селевого потока, что говорит о высокой эффективности таких сооружений.

В результате анализа всех полученных данных по фактическому состоянию в районе произошедшей катастрофы сделано заключение, что, хотя прорыв привел к сокращению объема воды в озере Башкара в пять раз, опасность прорывов воды из озера в летние периоды ближайших лет сохраняется. Дело в том, что сток из озера происходит через гребень перемычки, протяженность которой около 70 м. Образовавшийся при прорыве врез имеет ширину днища около 5 м, над которым расположены стенки высотой до 15 м, сложенные рыхлым материалом морены.

Опасность представляет обрушение крупных блоков грунта со стен прорыва. Возможная величина подъема воды может составить до 6 метров, прорывной паводок при размыве будет значительным.

Необходимо исключить попытки понизить уровень озера Башкара без работки проекта его контролируемого спуска. Создавшееся положение возлагает ответственность на правительственные структуры республики и ученых, занимающихся проблемой селеопасных приледниковых озер.

Вызывает удивление пассивность специалистов, выполнявших мониторинг озера на протяжении всего лета 2017 г. перед его прорывом непосредственно на берегу. Если фиксируется полное заполнение водоема, то принимаются экстренные меры. Подобные события происходили в начале лета 2017 г. в Ставропольском крае на реке Подкумок, что привело к обвалению режима чрезвычайной ситуации и к ее широкому освещению в СМИ.

УГРОЗЫ КАТАСТРОФ В ДОЛИНЕ РЕКИ МЗЫМТЫ И КУРОРТЕ КРАСНАЯ ПОЛЯНА

Мониторинг гор Кавказа с борта МКС в рамках программы «Ураган» показал, что в настоящее время одним из опасных районов в России является горно-климатический курорт Красная Поляна и значительная часть долины реки Мзымты. Природные катастрофы на этой территории неминуемы.

При строительстве объектов горного кластера Олимпийских игр 2014 г. было создано более 30 опасных мест. Основные угрозы здесь – сели и оползни. По оценке Института географии РАН, мероприятия по предотвращению возникших угроз не соответствуют масштабу возможных бедствий.

Главная причина всех бед – крайне низкое качество работ по подготовке возведения новых объектов и предшествующих строительству изыскательских исследований. Простой пример: выравнивая площадки неровного горного рельефа для очередного размещения гостиниц, грунт бульдозерами перемещали в ручьи, забывая, что после дождя возникшие селевые массы окажутся на главных улицах курорта. Это ли не преступная халатность? На космоснимке хорошо видно, как обрабатывали горы сотни бульдозеров и экскаваторов.

С начала XXI в. на склонах гор Кавказа в пределах Краснодарского края участились катастрофические явления, увеличился ущерб от них, что связано, с одной стороны, с изменением атмосферной циркуляции и ростом осадков, а с другой – с активной хозяйственной деятельностью.

Долина Мзымты характеризуется рядом природных особенностей, создающих очень благоприятные условия для развития оползневых процессов,



Космический снимок ГKK Красная Поляна, полученный с МКС в июле 2017 г.

включая катастрофические. Это, прежде всего, горный рельеф и большие перепады высот в сочетании с широким распространением крутых склонов. Кроме того, регион относится к зоне сейсмической опасности. В геологическом отношении территория представляет собой смятые в складки горные породы, неустойчивые и быстро разрушающиеся.

Особого внимания заслуживает климат этой местности: влажный, субтропический, характеризующийся большим количеством осадков: до 2000 мм в год, часто выпадающих в виде ливней, и высокими среднегодовыми значениями температуры. Это создает агрессивную среду, в условиях которой активно протекают процессы выветривания (особенно химического) кровли коренных горных пород. Результат – благоприятные условия для развития оползневых процессов, поражающих обширную территорию района

Красной Поляны. Большое количество малых рек и ручьев селеопасны.

Все это делает актуальным и необходимым мониторинг проявлений современных опасных процессов в горах, оценку рисков для строительства и эксплуатации инженерных объектов. В качестве одного из удобных и информативных способов экологического мониторинга использованы данные дистанционного зондирования Земли с МКС. Фотоснимки высокого разрешения позволяют оценивать современное состояние среды, анализировать динамику природных процессов, отслеживать различные виды антропогенной деятельности и соблюдение экологических норм при активном развитии инфраструктуры.

Река Мзымта на всем своем протяжении отличается горным типом русла и большим количеством наносов. Практически каждый год здесь наблюдается серия паводков во влажный период

года. Многие ее притоки селеопасны, уровень воды в них во время весеннего половодья может подниматься до 5 м над летними отметками. Узкая долина Мзымты на некоторых участках представляет собой глубоко врезанное ущелье. Вдоль нее проходит основная трасса, связывающая главные спортивные площадки. Дорожные работы нередко ведутся в непосредственной близости от рек и зачастую приводят к активизации береговых размывов, либо к повышенной аккумуляции наносов с последующим смещением русла.

Необходимым условием подобного строительства должны быть берегоукрепительные работы. Если ими пренебречь, русло быстро деформируется, что приносит немалый ущерб. Космические снимки детальностью около 2 м позволяют проводить мониторинг состояния территории, динамики русловых разветвлений, уровня воды в реке.

Наиболее распространенные и опасные угрозы на территории курорта – оползневые процессы. Их развитию способствуют сильно расчлененный горный рельеф, разнообразный состав коренных пород с резко различными прочностными свойствами, значительные атмосферные осадки. Большую роль играет высокая сейсмичность. Рассмотрим их подробнее.

Оползни в активной стадии приурочены, главным образом, к участкам подрезки склонов речной эрозией, к бортам дорожных выемок. В горной части территории склоны относятся к потенциально неустойчивым.

Активность оползней, по данным мониторинга 2008–2020 гг., является переменной и существенно зависит от климатических факторов. В среднем до



Так выглядит с орбитальной высоты очень крупный оползень

10% от общего числа оползней ежегодно активизируется. В 2016 г. доля активных оползней в районе повышалась даже до 25%.

Степень пораженности отдельных участков территории оползневыми процессами связана с зонами активного увлажнения. Крупные оползни имеют в длину более 0.5 км, ширину в нижней части до 300 м. Средний захват по глубине 2–3 м. Осыпи наиболее распространены на участках с интенсивно расчлененным рельефом на горных склонах крутизной 45–70°.

Формирование блоковых оползней происходит при подрезке основания склона. Благоприятными условиями к оползанию являются падение пластов горных пород субпараллельно поверхности склона и интенсивная их трещиноватость. Оползневые массивы в Красной Поляне находятся в состоянии предельно неустойчивого равновесия, и для дестабилизации склонов достаточно незначительного внешнего воздействия. Пожалуй, самый известный оползень курорта расположен на правом берегу Мзымты на полпути из Адлера в Красную Поляну в самом верховье реки Кепша. Его первый сход отмечен в 2007 г., а в 2013 г. процесс повторился в десятикратном размере.



Первая стадия проявления движения на крупном оползне в верховье ручья Кепша в Красной поляне. Фото с вертолета



Вторая стадия активизации и движения оползня в верховье ручья Кепша в Красной поляне. Фото с вертолета

Кроме собственно оползней, в районе широко развиты явления, связанные с процессом длительной медленной ползучести грунтов на склонах до 20–25° в слое мощностью 2–3 м без видимых проявлений разрыва сплошности, под влиянием периодического изменения объема грунтовой массы, вызываемой набуханием и усадкой, чередованием увлажнения и высыхания глинистых пород. При строительстве на таких участках при дополнительной нагрузке склонов, как правило, происходит активизация деформаций.

Другая проблема – селевые процессы. Несмотря на то, что сама Мзымта не относится к селеопасным рекам, в ее верховьях и в долинах притоков сели наблюдаются довольно часто и могут стать причиной значительных местных повреждений хозяйственных построек и коммуникаций. Налицо явно недостаточное внимание к этим процессам. Еще до начала олимпийского строительства на Мзымте были известны случаи катастрофических селей, унесших человеческие жизни.

В настоящее время с учетом масштабного освоения территории, значительного увеличения площади застройки наблюдаются существенные антропогенные изменения в балансе наносов многих водотоков, повсеместное подрезание склонов, часто без каких-либо укрепительных сооружений. Поэтому возросло число селей и оползней, увеличились их объемы. Многие из них являются чисто техногенными.

Очевидно, что исследованиям селевых процессов и проведению укрепительных работ должно уделяться особое внимание. Имеющиеся в настоящее время защитные сооружения нередко не представляют собой сколько-нибудь действенной защиты от опасных процессов, а гравийная смесь, засыпанная

в овраг, вместо защиты от эрозии сама, как правило, становится подготовленным селевым материалом.

Остановимся кратко только на нескольких весьма опасных участках.

Центральной частью всего курорта Красная Поляна является комплекс «Альпика-Сервис», который включает в себя жилые городки, расположенные на берегу р. Мзымты на высоте около 500 м над уровнем моря и на высотных отметках около 950 м, а также канатные дороги, горнолыжные спуски, инженерную и транспортную инфраструктуру. Он расположен по берегам ручьев Сулимовский, Шумихинский и Ржаной.

Русло ручья Сулимовский является особенно яркой зоной транзита селей. Неоднократно отмечено отложение селевых масс в устье ручья.

На склоне долины Мзымты возле ручья Ржаной отмечены глубокие промоины в насыпных грунтах, размыв которых уже многократно приводил к сходу селевых потоков.

На правом борту долины реки Мзымта в нижней части склона существует селевая опасность на участках напротив гостиниц «Роза Хутор». При верховом откосе лыжной трассы (абсолютная отметка – 670–680 м) активно развивается оползневой процесс. Противооползневые мероприятия на данном участке отсутствуют. В случаях активизации такого процесса происходит сход оползневых масс в русло ручья Шумихинский, где формируется селевой поток с заполнением пропускного сечения под мостом через ручей Ржаной и выходом селевых масс на полотно главной автодороги курорта.

Место пересечения ручья Ржаной с этой автодорогой находится на территории гостиничного комплекса «Роза Хутор». Здесь ежедневно отмечается большой поток людей, активное дви-



Опозневой склон, пропитанный водой. Фото Л.В. Десинова

жение транспорта. Находятся несколько кафе. Но пропускное сечение моста – «курам на смех». Заглянем под этот мост с противоположной стороны – картина та же.

Однако реальность далека от смеха! Селевые потоки случались здесь много раз. Пока обошлось без жертв, но настоятельно необходимо срочно разработать и реализовать проект противоползневой и противоселевой защиты в долинах ручьев Ржаной и Шумихинский и построить здесь мосты арочного типа, которые станут и украшением ландшафта.

Во время интенсивных осадков возможна активизация селевого процесса с выходом селевых масс к отелям. Дело в том, что на крутом правом склоне Мзымты возле отелей «Газпрома» были складированы отвалы грунта, служащие источником формирования селевого потока, потенциально угрожающего отелям «Роза Хутор».

Третий спортивный комплекс «Горная Карусель» – одно из основных мест возведения отелей, горнолыжных трасс и канатных дорог. Он расположен на склонах ручья Тобиас, в русле которого накоплены большие объемы грунтовых каменных масс, которые являются потенциальным источником возникновения мощных селей, угрожающих даже построенной к Олимпиаде-2014 великолепной совмещенной железной и автомобильной дороге.

Техногенные отложения из отвалов грунта, образующегося при строительных работах на территории «Горной Карусели», сформировали пять очагов, которые пополняют твердую составляющую селевых потоков ручья Тобиас. В руслах его притоков – ручьев Мостовой, Пересадочный и Медвежий ранее неоднократно фиксировались сходы селевых потоков, что также угрожают полотно железной дороги.



Нижний мост на ручье Ржаной на главной дороге № 23. Фото Л.В. Десинова



Нижний мост на ручье Ржаной с противоположной стороны. Фото Ю.А. Плутцевой

КАНАТНАЯ ДОРОГА ЗС ОТ РЕКИ ПСЛУХ К ОТЕЛЯМ «РОЗА ПЛАТО»

К сожалению, фрагмент долины реки Мзымта, на указанном участке очень тесный и как правило затемнен, а потому фотографии со спутников и с МКС приносят плохие результаты и должны быть поддержаны наземной съемкой с применением БПЛА (беспилотных летательных аппаратов).

Самая последняя канатная дорога, если следовать вверх по долине, имеет обозначение ЗС. И если продвигаться к ее первой опоре, обнаружим весьма активный оползень. И даже возле нижней станции канатной дороги существует опасность для людей и транспорта, так как сюда по руслу ручья перемещаются небольшие камни и огромные валуны. Но особенно активно русло безымянного ручья, спадающего сюда от отелей «Роза Плато». Заметим, что и ручья этого раньше просто не существовало, так как он возник от отвала

сюда грунта при выравнивании строительной площадки для отелей. На рисунках показан огромный валун, который медленно сползает к главной дороге курорта – результат этого процесса.

Особую опасность представляет и ручей Фермерский (Водопадный), который выходит к вокзалу станции Эсто Садок.

По ручью Фермерский неоднократно отмечено прохождение селевых масс, заполняющих русло ручья с выходом на привокзальную площадь. Сход селей был спровоцирован размывом техногенных отвалов объемом около 50 000 м³ в районе стартовой вышки комплекса трамплинов. Только немедленное реагирование пока не позволило забить пропускное сечение моста, расположенного как раз под головным вагоном экспресса. Сам комплекс трамплинов возведен в зоне неустойчивых горных пород, которые залегают слоями с пропитанными водой поверхностями смещения.

В 2014 г. на площадке выше оползневого склона производилось несанк-

Огромный валун смещается к главной дороге курорта. Фото Л.В. Десинова



ционированное складирование насыпных грунтов, а также планировка площадки путем смещения насыпных грунтов и снега ниже по склону.

В 200 м восточнее стартовой вышки комплекса трамплинов при активизации оползневой процесс сместились значительные объемы горных пород. В результате на склоне выше автодороги образовался V-образный врез шириной до 20 м, длиной около 100 м. Этот врез в нижней части заполнен оползновыми массами, по которым стекают поверхностные воды. Кроме того, здесь в процессе строительства производилась вырубка деревьев, что снизило устойчивость пород.

По инициативе ООО «Роза Хутор» уже началось активное вторжение в особо охраняемые территории,



По прошествии 5 месяцев этот валун выкатился на дорогу. Фото Л.В. Десинова

которые расположены в верховьях долины р. Мзымты вплоть до озера Кардывач, то есть практически до Главного Кавказского хребта. Здесь, очень далеко в глубине Кавказского государственного биосферного заповедника, планируется

На космическом снимке с МКС хорошо демонстрируются рельефные особенности левого склона долины Мзымты и пути движения селей по ручью Фермерский к вокзалу Эсто-Садок





Селевые массы в ручье Фермерском достигли железной дороги. Фото Л.В. Десинова

создать сеть миниотелей Энгельманова Поляна, а еще в 19 км, выше, в самой главной заповедной зоне – базу Люб-Кардывач. Всего же выделено более 220 участков.

В споре бизнеса и экологов о целесообразности расширения курорта поставлена точка. Правительство РФ приняло Распоряжение от 30.03.2017 г. № 586-р, в соответствии с которым ОАО «Роза Хутор» и ее дочерние фир-

мы получили 220 земельных участков. Тендеры на изыскательские работы уже проведены и их исполнители определены. Нетрудно предположить, что часть этих проектов поручена неквалифицированным организациям, что приведет при реализации планов освоения к созданию многих новых опасных мест.

Приведенные данные ярко свидетельствуют о высокой эффективности изучения опасностей в горах с помощью космической съемки с МКС.

Таким образом, если в настоящее время мониторинг долины р. Мзымты направлен на выявление опасных участков рельефа, то впредь потребуются давать оценку новых реальных ущербов природной среде. Важно отметить, что Институт географии РАН не против рекреационного освоения новых территорий и развития туризма в одном из красивейших районов нашей страны. Однако превыше всего – обеспечение безопасности людей и инфраструктуры этой территории.

Железнодорожная станция Эсто-Садок и пересадочный узел, примыкающий к вокзалу. Фото с вертолета



С новыми книгами
Издательства “Наука”
вы можете ознакомиться на сайте
naukabooks.ru



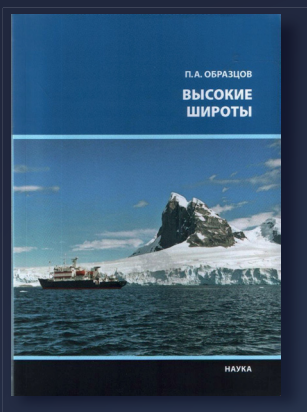
Капанадзе А.Л.

**Опытным путем:
Эксперименты, изменившие мир.**

М.: Наука, 2019. – 319 с.

В книге рассказывается об основных вехах в развитии экспериментальных методов в самых разных областях наук о природе, человеке и обществе – физике, химии, астрономии, биологии, физиологии, медицине, археологии, социологии, психологии, экономике. Охвачен период с античных времен до наших дней. Читатель узнает о знаменитых и малоизвестных опытах, оказавших огромное влияние на формирование наших представлений о мире и о нас самих. Большое внимание автор уделяет не только истории приборов и технологий, но и истории идей. Затрагиваются проблемы отличия классического эксперимента от наблюдения (когда опыт «ставит» сама природа), преемственности технических инноваций, влияния общественного климата на работу экспериментатора, роли случайности в этой работе.

Для широкого круга читателей.



Образцов П.А.

Высокие широты.

М.: Наука, 2018. – 192 с. – (Научно-популярная литература)

Книга повествует об открытии и освоении Арктики и Антарктики, этих двух полюсов холода и мужества, об отважных героях, благодаря которым человечество узнало о природе, животном мире самых северных и самых южных земель, а также о том, какая непростая и вместе с тем увлекательная жизнь идет сегодня в этих суровых, таинственных и манящих краях.

Для широкого круга читателей.



Верещагин Г.В., Аксенов А.Г.

Релятивистская кинетическая теория с приложениями в астрофизике и космологии.

М.: Наука, 2018. — 471 с.

Релятивистская кинетика широко применяется в астрофизике и космологии. В последние годы интерес к этой теории вырос, поскольку появилась возможность ставить эксперименты при таких условиях, где релятивистские эффекты становятся существенными. Настоящая монография состоит из трех частей. В первой части представлены основные идеи и концепции, уравнения и методы теории, включая вывод кинетических уравнений из релятивистской цепочки Боголюбова, а также соотношение кинетического и гидродинамического описаний. Вторая часть — это введение в вычислительную физику, причем особое внимание уделяется численному интегрированию уравнений Больцмана и смежным вопросам, а также многокомпонентной гидродинамике. В третьей части дан обзор приложений, который охватывает вопросы ковариантной теории отклика, термализации плазмы, комптонизации в статических и динамических средах, кинетики самогравитирующих систем, образования структуры в космологии и излучения нейтрино при гравитационном коллапсе.

Для студентов старших курсов университетов, аспирантов и исследователей, специализирующихся в области теоретической физики, астрофизики и космологии.

naukabooks.ru

Реклама

ЗАПАДНЫЙ ПРИКАСПИЙ ПОД ПРИСТАЛЬНЫМ НАБЛЮДЕНИЕМ



МЕДВЕДЕВ Андрей Александрович*,

кандидат географических наук

АЛЕКСЕЕНКО Наталья Анатольевна**,

кандидат географических наук

ТЕЛЬНОВА Наталья Олеговна*,

КУДИКОВ Арсений Валерьевич*,

КУРАМАГОМЕДОВ Башир Магомедович*

* Институт географии РАН

** Географический факультет, Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова

DOI: 10.7868/50044394821050029

Значение дистанционного зондирования Земли из космоса для изучения природной среды переоценить невозможно: от исследования растительности и водных ресурсов до геологического и геоморфологического картографирования. Количество спутников, ведущих ежедневную съемку земной поверхности из космоса, уже давно перевалило за сотню, а архивы космических данных измеряются петабайтами. При увеличении числа спутниковых систем ДЗЗ значительно улучшается качество и особенно разрешающая способность съемочной аппаратуры, достигшая уже пространственного разрешения 0.3 метра. Сегодня не менее 10 космических платформ ведут съемку в субметровом разрешении.

Но при всех современных технологических возможностях космической съемки существуют такие объекты и природные процессы, картографирование и мониторинг которых можно проводить только на основе данных сантиметрового разрешения при комбинации космических, воздушных и наземных методов дистанционного зондирования. Некоторые процессы и явления до сих пор не нанесены даже на крупномасштабные карты, а скорости их протекания известны недостаточно точно или вовсе не определены.

Детектирование примечательного природного объекта и его свойств на двумерном изображении – космическом снимке – порой лишь косвенно может говорить о тех процессах, которые формируют или изменяют его облик. Когда речь заходит о рельефе местности, то изучение экзогенных процессов по аэрокосмической информации не может быть оторвано от создания цифровых моделей рельефа (ЦМР).

ЦМР глобального, регионального и локального охвата регулярно получают на основе различных данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Однако даже наиболее детальные из них – коммерческие продукты, имеющие пространственное разрешение 2–5 м, не дают возможности идентифицировать некоторые объекты и явления. Глобальные ЦМР (открытые данные), которыми массово пользуются современные исследователи, имеют разрешение до 30 м, что ограничивает сферу их применения в локальных исследованиях многих объектов и явлений.

Для изучения структуры и динамики таких уникальных объектов наиболее эффективен мультиплатформенный мониторинг, в системе которого используются разновременные данные дистанционного зондирования, получаемые с разных высотных эшелонов и от разных источников зондирования. Высотные эшелоны: а) космическая съемка высокого и сверхвысокого пространственного разрешения (дешифрирование и выявление изменений); б) съемка с низких высот с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), позволяющая получать снимки и ЦМР с сантиметровым пространственным разрешением; в) данные наземного лазерного сканирования, GPS-позиционирования и детальных полевых обследований (*in situ*), обеспечивающие верификацию аэрокосмической информации и детальное полевое обследование.

В статье мы представляем предварительные результаты мультиплатформенного мониторинга экзогенных процессов, проведенного в рамках научной студенческой экспедиции, организованной Институтом географии РАН и Географическим факультетом МГУ им. М.В. Ломоносова, в январе-феврале 2021 г. на территории Республики Дагестан.

Целью экспедиции было изучение процессов, меняющихся с достаточно большими скоростями. Это – и метры в несколько лет: береговая линия, русловая сеть; это – метры в несколько дней: песчаные дюны и барханы; это – метры в минуты: склоновые процессы. Все эти процессы, изменяющие облик рельефа на разных пространственно-временных уровнях, являются результатом воздействия внешних – экзогенных – факторов, в частности, перепадов поверхностных температур, энергии ветра, гравитации, поверхностных и подземных вод, приливно-отливных явлений и пр.

Изучение влияния экзогенных процессов на внешний облик какой-либо территории – не праздное любопытство. Оползни, камнепады, карстовые провалы, отступление берегов и пр. приводят не только к экономическим потерям и разрушению инфраструктуры. Иногда в результате незнания и неумения предсказать опасные процессы гибнут люди. Для того, чтобы моделировать с целью прогноза разнообразные аспекты поведения быстро меняющихся под воздействием экзогенных процессов природных объектов, требуется наличие множества данных и постоянный мониторинг.

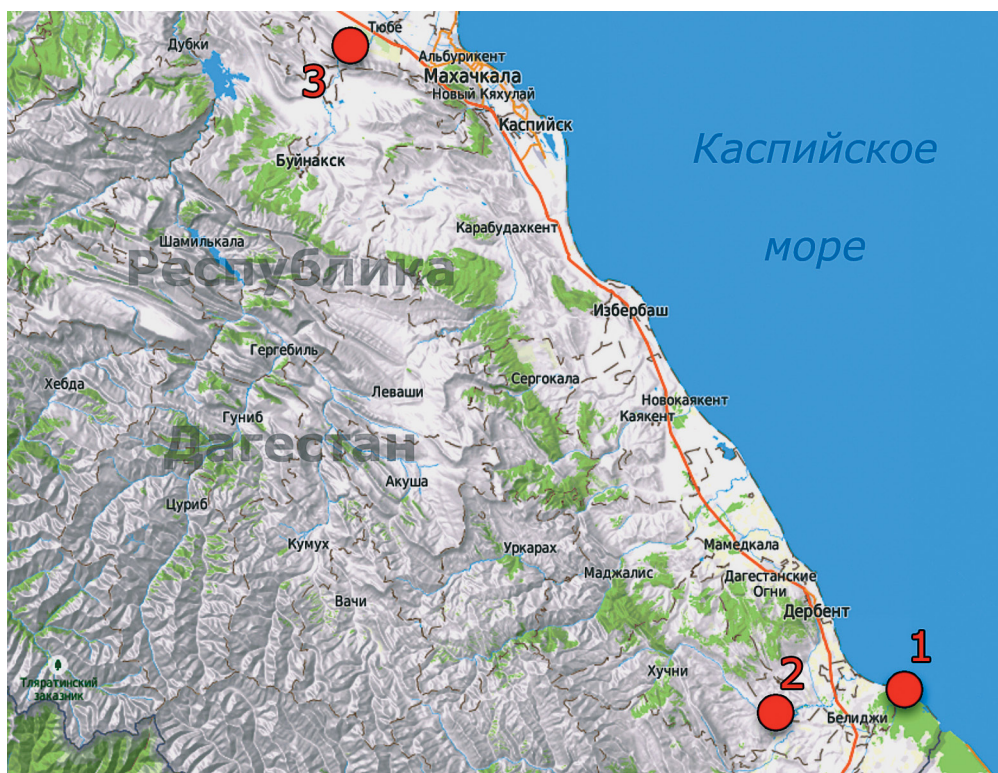
Мы изучали три своеобразных и изменчивых геолого-геоморфологические объекта, расположенных в пределах Западного Прикаспия, на территории Равнинного и Внешнегорного Дагестана.

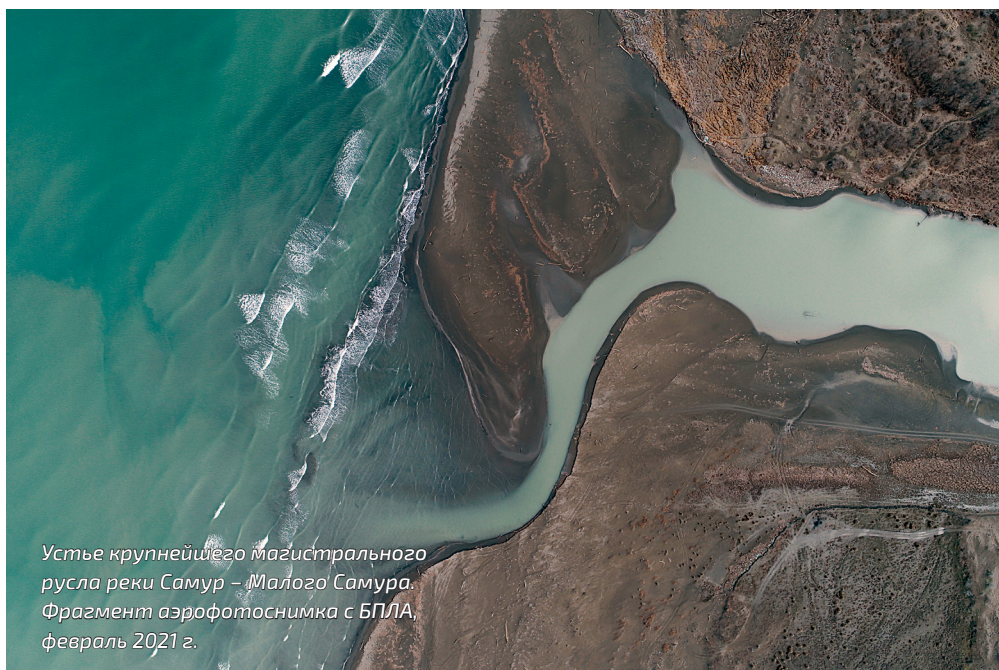
ДЕЛЬТА РЕКИ САМУР

Река Самур имеет площадь водосборного бассейна более 7.3 тыс. км² и является основной водной артерией Южного Дагестана. Обширная дельта (более 80 км²), пронизанная многочисленными рукавами и протоками рек Самура и Гюльгерычая, представляет собой низменную часть (большая часть дельты лежит ниже уровня Мирового океана) наклонной аллювиально-пролювиальной равнины – гигантского конуса выноса, имевшего длительную историю развития и сложенного мощной толщей плейстоценовых и голоценовых песчано-гравийно-галечных отложений с прослоями суглинков и глин. Водный режим реки Самур, имеющей

смешанный тип питания, в нижнем течении отличается длительным половодьем (с конца марта по август), летне-осенними паводками и четкой зимней меженью. На всем протяжении воды реки имеют очень высокую мутность в силу интенсивного эрозионного смыва со всей территории бассейна. Для дельты Самура характерны значительные запасы подземных вод, часто выходящих на поверхность в виде родников, и мощный подрусловый сток. В приустьевой части выделяются два основных магистральных русла: Малый Самур и Большой Самур – и несколько мелких изолированных проток, берущих начало из родников и впадающих непосредственно в Каспийское море (Кара-Су и др.).

Расположение объектов: 1 – Дельта р. Самур; 2 – бедленды возвышенности Паллас-Сырт; 3 – Золово-аккумулятивный массив Сарыкум





Водный режим в дельте реки Самур отличается значительной многолетней изменчивостью не только в силу изменений климата, динамики уровня Каспийского моря, но и в результате интенсивного использования водных ресурсов в бассейне Самура. Из-за этого состояние произрастающих здесь уникальных для России влажных лиановых лесов сильно нарушается, что ведет к снижению бонитета¹ лесов, смене породного состава за счет ценных широколиственных пород и др.

Проведенные нами в дельте реки Самур полевые работы заключались в оптической и тепловой съемке территории с БПЛА, в полевом дешифрировании высокодетальных космических снимков, описании и в выделении типов берегов в соответствии с их внешней формой и протекающими процессами.

¹ Бонитет – показатель продуктивности лесного насаждения, зависящий от благоприятности условий произрастания.

БЕДЛЕНДЫ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ВОЗВЫШЕННОСТЕЙ ПАЛЛАС-СЫРТ

В предгорной части Южного Дагестана в бассейнах рек Рубас и Гюльгерычай выделяются структурно-денудационные изолированные возвышенности, объединяемые общим названием Паллас-Сырт. Возвышенности западной части, расположенные в левобережье бассейна реки Рубас к северу от села Сиртыч и глубоко расчлененные плоскодонными и крутосклонными сухими долинами (Камышчай и др.), сложены преимущественно глинистыми породами акчагульского яруса верхнего плиоцена, что обусловило преобладание здесь специфического и очень ярко выраженного рельефа типа «бедленд»² и широкое распространение

² Бедлендом называются территории со сложным, сильно расчлененным и трудно проходимым рельефом, практически непригодные для хозяйственной деятельности.



форм псевдокарста (воронки, поноры, провалы и др.) при активном развитии эрозионных и карстово-суффозионных процессов.

В период полевых работ на этом участке были получены данные дистанционного зондирования с БПЛА и лазерного сканера. С помощью БПЛА был отснят водосборный бассейн площадью 4,7 км² с перепадом высот около 100 метров, лазерным сканером – крупная провальная воронка. Пространственное разрешение полученной ЦМР по материалам съемки с БПЛА составило 20 см.

ПЕСЧАНЫЙ МАССИВ САРЫКУМ

Сарыкум – крупнейший в Европе и самый высокий в Евразии изолированный материковый песчаный массив (площадь – 2,5 тыс. га), расположенный на Терско-Сулакской низменной равнине в центральной части Восточного Дагестана. Большая и наиболее

возвышенная часть массива (Большой Сарыкум) к западу от реки Шура-Узень с 1978 г. является участком «Сарыкумские барханы» Дагестанского заповедника. Малый, или Восточный, Сарыкум в настоящее время сильно нарушен горными разработками.

Величественный и четко обособленный массив желтых кварцевых песков Большого Сарыкума возвышается на 178 м над окружающей его равниной, представляя собой своеобразную островную пустыню, где средние температуры пяти месяцев в году превышают 20 °С (температурный рекорд Дагестана), а в солнечные дни поверхности южных песчаных склонов прогреваются до 60 °С.

Существует несколько различных гипотез, объясняющих происхождение, историю формирования и изолированную локализацию столь крупного материкового песчаного массива, но все они сходятся на том, что Сарыкум является реликтом древних природных обстановок, существовавших несколько тысячелетий тому назад, а современные



Эолово-аккумулятивный песчаный комплекс Сарыкум. Фрагмент аэрофотоснимка с БПЛА, февраль 2021 г.

экзогенные процессы ведут только к перестройкам форм эолового рельефа и выносу песка за пределы массива.

По данным полевой съемки с БПЛА на территорию Большого Сарыкума были получены цифровая модель рельефа и ортофотоплан с пространственным разрешением соответственно 50 и 8 см, охватывающие площадь 4 км².

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ: ОТ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДО ЛАЗЕРОВ

Экзогенные процессы – один из основных природных процессов, определяющих формирование и моделировку рельефа местности. Для деятельности человека такие процессы могут быть неблагоприятными, поэтому их развитие требует постоянного мониторинга.

Методы такого мониторинга основаны либо на непосредственных наблюдениях (*in situ*), либо используют данные дистанционного зондирования. Среди наземных методов наиболее популярны съемка высокоточными тахеометрами и лазерное сканирование местности. Эти методы имеют высокую точность (2–6 см), но их применение ограничено, если надо изучить и картографировать обширные территории.

Чтобы обнаружить проявления экзогенных процессов и диагностировать их в пределах значительных территорий, предпочтительно использовать данные дистанционного зондирования: аэрофотоснимки и спутниковые снимки, сделанные в разное время. Основные ограничения при этом – относительно высокая стоимость высокодетальных снимков и их малое количество для интересующих нас периодов времени.

Дистанционные методы, длительно и активно применяемые в физической географии, традиционно основаны на визуальном или автоматизированном дешифрировании космических снимков как двумерных изображений местности. На сегодняшний день получение сверхвысокодетальных аэрофотоснимков и цифровых моделей рельефа с беспилотных летательных аппаратов является наиболее дешевым и доступным способом. Главными преимуществами БПЛА являются получение оперативных и высокодетальных данных для картографирования и мониторинга окружающей среды. Информация, получаемая с них, качественно лучше, чем со спутников сверхвысокого разрешения. При тематическом дешифрировании аэрофотоснимков, получаемых с БПЛА, используются традиционные при обработке космических снимков возможности анализа и классификации изображений.

Выполнение аэрофотосъемки с целью картографирования предъявляет повышенные требования к выходным данным, а именно к выдерживанию геометрических параметров съемки. Небольшие БПЛА экономичны в эксплуатации и портативны, но менее стабильны с этой точки зрения. Как следствие, блоки снимков, полученные с БПЛА, обладающие отличной детальностью, яркостью и контрастом, могут иметь низкое фотограмметрическое качество с точки зрения традиционных фотограмметрических пакетов.

На первом этапе работ для детектирования, картографирования и мониторинга исследуемых объектов использовались космические снимки сверхвысокого разрешения с аппаратов Geoeye-1, WorldView 1,2/3, Quickbird, Pleiades. В качестве источников данных использовались бесшовные мозаики космических снимков веб-сервисов Яндекс.Карты, GoogleMaps, BingMaps

(Microsoft), ArcGIS.Imagery (ESRI). Обработка снимков проводилась на основе визуального дешифрирования, так как основной задачей было распознавание объектов и картографирование их динамики. При дешифрировании снимков сверхвысокого разрешения использовались прямые (геометрические, яркостные и структурные) и косвенные дешифровочные признаки. Для мультिवременного анализа также использовались архивные космические снимки с разведывательных спутников программы Corona и топографические карты крупных масштабов.

На полевом этапе работ использовались БПЛА мультироторного типа для аэрофотосъемки местности. Методику оптической съемки в рамках исследования можно разделить на несколько задач: дешифрирование и картографирование объектов и явлений, построение цифровых моделей местности и цифровых моделей рельефа.

Обработка оптической съемки осуществлялась в программном пакете Agisoft MetaShape при помощи фотограмметрического алгоритма преобразования кадров в трехмерное изображение, известного как «Structure-from-Motion» (SfM). В программном пакете произведены стандартные алгоритмы обработки по выравниванию фотографий, построению облака точек и построению модели.

Визуальное дешифрирование оптической съемки с БПЛА осуществлялось, как и для космической съемки, на основе дешифровочных признаков. Большинство объектов для детектирования, которые необходимо было выявить при решении задач исследования, по снимкам с разрешением в несколько сантиметров очень хорошо распознается.

В качестве наземных полевых методов использовалось лазерное сканирование, с помощью которого осуществлялась съемка отдельных объектов (пороны

и карстовые воронки), которые не могут быть изучены другими методами.

Камеральная часть исследования базировалась на геоинформационном анализе ЦМР и получении производных цифровых продуктов – морфометрических моделей, которые используются при автоматизированной идентификации микро- и наноформ рельефа, количественной оценки интенсивности проявления современных ведущих экзогенных процессов на рассматриваемых участках.

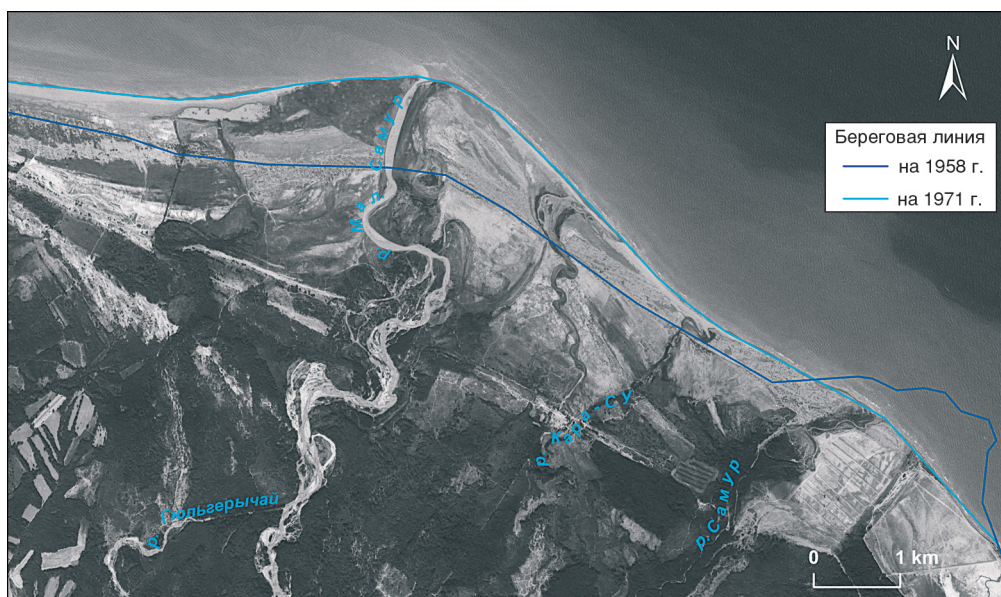
ДИНАМИКА ДЕЛЬТЫ РЕКИ САМУР

На протяжении XX–XXI вв. в дельте р. Самур отмечались существенные и быстрые перестройки магистральных русел и их низких пойм, изменения морфологии берегов, и трансформации ландшафтной структуры территории. Их можно было четко фиксировать при анализе старых топографических карт и архивных космических снимков различного пространственного разрешения.

Драйверами этих перестроек были как природные, так и антропогенные факторы. Низкие уклоны поверхности дельты, значительный объем привносимых водами Самура влекомых и взвешенных наносов, высокая межгодовая изменчивость речного стока, способствуют прорывам русел и формированию новых пойм: рукава и протоки в дельте реки можно назвать блуждающими. В первой трети XX в. началось искусственное регулирование стока низовий Самура. В 1935 г. естественное русло реки Гульгерычай, имевшей площадь водосборного бассейна св. 2.3 тыс. км² и впадавшей в Каспийское море к северо-западу от Самура, было перекрыто дамбой и отведено в Малый Самур, став, таким образом,

его левым искусственным притоком. Это привело к постепенному перераспределению большей части объемов водного стока и стока взвешенных наносов в Малый Самур и увеличению площади его дельты. Вопреки своему историческому названию, Большой Самур с середины XX в. характеризуется отмиранием своего русла, наполняющемуся водой только во время сильных паводков. Ранее активно выдвигавшаяся в море дельта Большого Самура начала интенсивно размываться морем: отдельные источники указывают на то, что скорость такого размыва достигала в 1960-е годы 50 км/год.

Темпы выдвигания дельты Малого Самура были вначале не столь велики, что отчасти объясняется искусственным регулированием стока реки Самур с 1956 г.: с этого момента на расстоянии 30 км выше устья начал функционировать Самурский гидроузел, перенаправляя значительную часть жидкого и твердого стока реки в Самур-Дербентский и Самур-Апшеронский каналы, используемые для орошения сельскохозяйственных земель Южного Дагестана и северо-восточных районов Азербайджана. Объем экологического попуска, установленный в 1967 г. в 35% после заключения в 2010 г. международного соглашения между Россией и Азербайджаном об использовании трансграничных водных ресурсов Самура, был снижен до 30.2%. На сегодняшний день ежегодный забор воды в нижнем течении реки составляет не менее четверти годового стока (данные на 2014 г.). Многолетнее безвозвратное изъятие стока через систему Самурского гидроузла привело к общему уменьшению объема наносов, выносимых в зону устьевого взморья, не менее чем на 50%. В то же время из гидроузла нередко залповые сбросы паводковых вод, что приводит к резкому подъему уровню Малого Самура



Изменения береговой линии в дельте Самура с 1958 по 1971 г. Положение береговых линий определены по архивным топографическим картам и космическому снимку Corona

и формированию обширных мутьевых потоков в его береговой зоне.

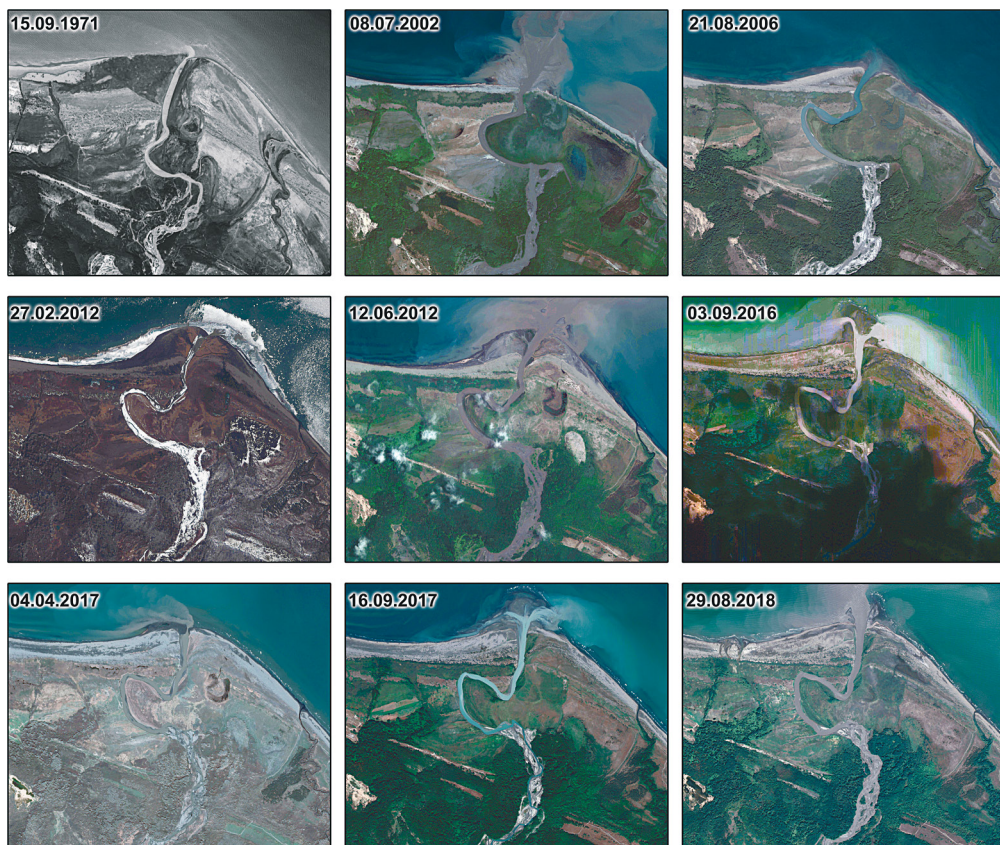
Помимо высокой изменчивости стока под влиянием гидротехнических сооружений, современная динамика морфологии дельты реки Самур и ее береговой линии определяется также влиянием вдольбереговых течений и волнового режима Каспийского моря, поэтому подбор и анализ разновременных снимков необходимо проводить как в соответствии с периодами динамики уровня Каспия, так и с учетом периодов крупных наводнений и экстремальных паводков в бассейне реки.

В сравнении с состоянием береговой линии по картографическим материалам на конец 50-х годов XX в., когда в нижней части реки Самур происходили крупные гидротехнические изменения, к 1972 г. прибрежная часть сильно перестроилась. Ранее сформированная дельта реки Самур была полностью размыта, и береговая линия здесь отступила на 900 м; активно

начала прирастать устьевая часть рукава Малый Самур за счет интенсивного накопления аллювиальных отложений, выдвинувшись в виде новой дельты на 1000 м.

В период трансгрессии Каспийского моря с 1978–1995 гг. динамика дельты была нами проанализирована по единственным доступным разновременным снимкам космической миссии *Landsat*. Несмотря на среднее пространственное разрешение (30 м), по этим снимкам устанавливается постепенный размыв новой дельты реки Малый Самур на фоне подъема уровня Каспия и формирование лагунных комплексов; сдвиг русла Малого Самура в приустьевой части к северу на 600 м; формирование мощных и устойчивых мутьевых потоков на устьевых взморьях в результате крупных наводнений (15.07.1988 и др.)

С 1997 г. по настоящее время наступает период понижения уровня Каспийского моря (тенденция стала устойчивой в середине 2000-х годов).



Временная серия высокодетальных космических снимков, отображающая динамику дельты Малого Самура и неоднократные перестройки его русла. Источник: Google Earth

Анализ высокодетальных архивных космических снимков, доступных на ресурсе Google Earth показал, что наиболее значительные изменения морфологии дельты и положения береговой линии произошли в результате прорыва в июне 2002 г. после экстремального паводка одного из рукавов Малого Самура.

При активном выдвигании дельты Малого Самура в сторону Каспийского моря аллювиальные наносы отложились в виде береговых баров и аккумулятивных валов в устьевом взморье. Этот процесс сопровождался перестройкой русловой сети в северо-западном направлении и отмиранием и забола-

чиванием участков-меандров старых магистральных русел.

По результатам выполненной нами реконструкции положений береговой линии по высокодетальным космическим снимкам, рассчитанная нами средняя скорость выдвигания дельты Малого Самура, составляла в период с 2002 по 2020 г. до 32 м в год. В среднем 86% береговой линии всей дельты Самура испытывало в этот период продвижение со средней скоростью 16–18 м в год. Скорости береговой аккумуляции затухали в юго-западном направлении, и в районе устьев отмирающих русел Кара-Су и Большого Самура в настоящее время преобладают абразивные процессы.

СОВРЕМЕННЫЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В БЕДЛЕНДАХ ВОЗВЫШЕННОСТЕЙ ПАЛЛАС-СЫРТ

Столовые вершины возвышенностей Паллас-Сырт, высота которых повышается в пределах левобережной части бассейна реки Рубасс с юго-востока на северо-запад от 100 до 500 м, густо «изъедены» причудливой дендритовидной сетью небольших балок и оврагов, формируя характерный рисунок бедленда.

В пределах возвышенности распространены пустынные полынные степи с редкими группами кустарников по днищам долин и нижним частям склонов. Территория не заселена и не освоена, используется только под экстенсивный выпас.

Геология и геоморфология этой территории изучены в меньшей степени, по сравнению с более южными возвышенностями Паллас-Сырт. Мы собрали и проанализировали серию мультивременных и мультисенсорных данных на предмет их применимости для геоморфологического картографирования и съемки. Основными целями были: оценка возможности использования БПЛА для идентификации объектов, сравнение данных космической и воздушной съемки; изучение возможно-

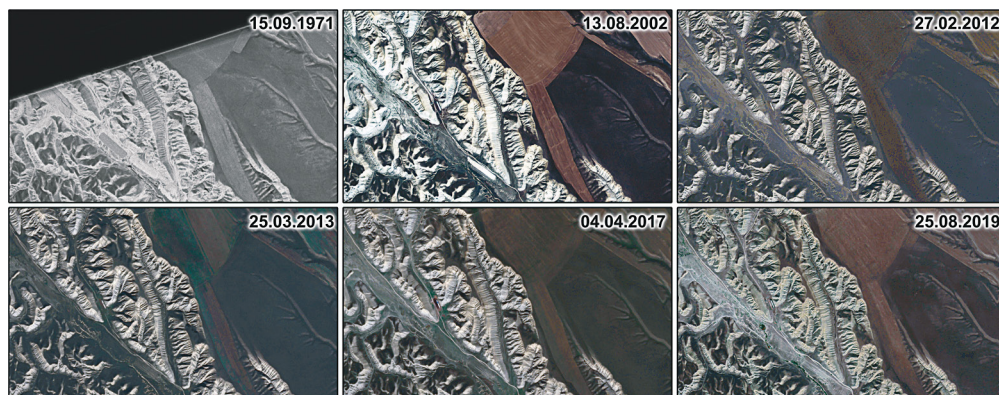
сти автоматизированного обнаружения объектов и изменений на основе высокодетальных ЦМР; налаживание системы регулярного мониторинга объектов для изучения динамики современных экзогенных процессов.

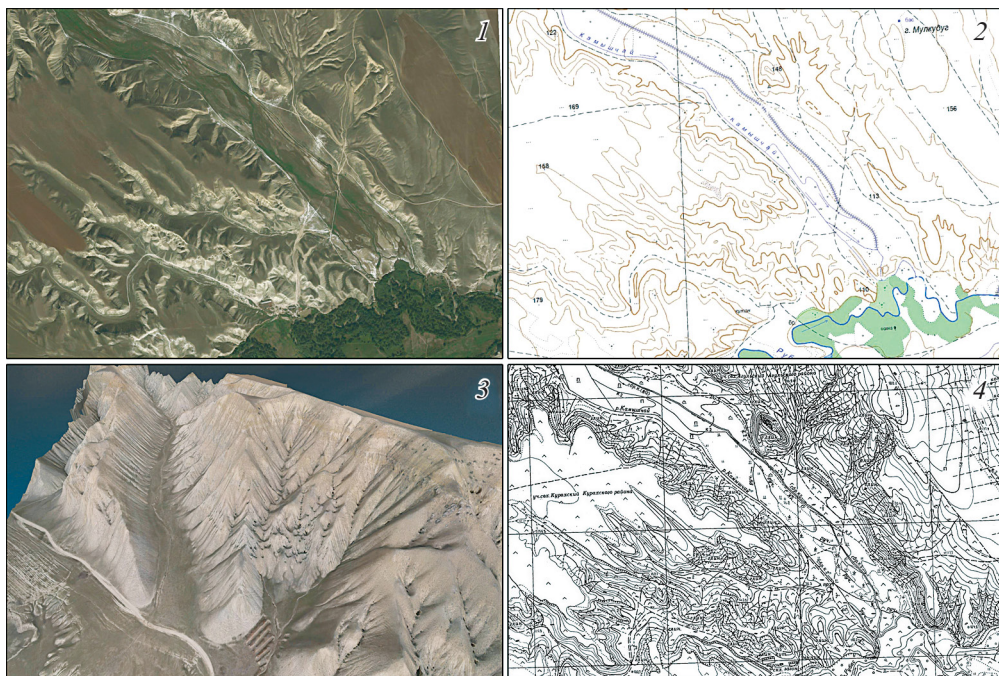
В отличие от данных космической съемки и топографических карт, по данным высокодетальной съемки с БПЛА четко фиксируются многочисленные формы псевдокарста, осложняющие и моделирующие рельеф бедленда. Псевдокарст, или глинистый карст, типичный для семиаридных районов с разреженным растительным покровом, выражен в виде цепочек округлых или вытянутых воронок, маркирующих направление подземного стока вдоль днищ мелких эрозионных форм, провалов, слепых балок и останцов в верхних частях склонов.

Морфометрические особенности псевдокарстовых форм и степень пораженности ими можно зафиксировать и количественно оценить только по высокодетальной цифровой модели рельефа, полученной по данным съемок с БПЛА с субметровым пространственным разрешением (20 см). На общедоступных цифровых моделях рельефа, построенных по данным космических съемок (SRTM, AsterGDEM, ALOSWorld3D-30), имеющих существенно более низкое пространственное и высотное разрешение, выделяют-

Временная серия высокодетальных космических снимков (1971–2019) на участок бедленда.

Источники: снимки Corona, Google Earth





Отображение рельефа бедленда на двумерных изображениях (1 – высокодетальный космический снимок, 2 и 4 – крупномасштабные топографические карты) и 3 – трехмерное изображение данных с БПЛА

ся только отдельные наиболее крупные формы псевдокарста.

Размеры крупных воронок достигают в поперечнике 5–15 м, глубина 1–3 м. По данным с БПЛА возможно выделить и более мелкие формы, которых много на исследованном участке: воронки до 0.3 м в поперечнике, глубиной до 1 м, элементы микроручейковой сети, дефлюкционные микротеррасы, образующиеся на склонах в местах прохождения скота и дополнительно осложняющие рельеф отдельных участков склонов, приобретающий на снимках с БПЛА специфический рисунок «стиральной доски».

Ограничения при использовании данных БПЛА при морфометрическом анализе рельефа бедленда заключаются в формировании так называемых «мертвых зон» при съемке наиболее крупных и глубоких впадин. Для полной трехмерной реконструкции таких отрицательных и сложных по морфо-

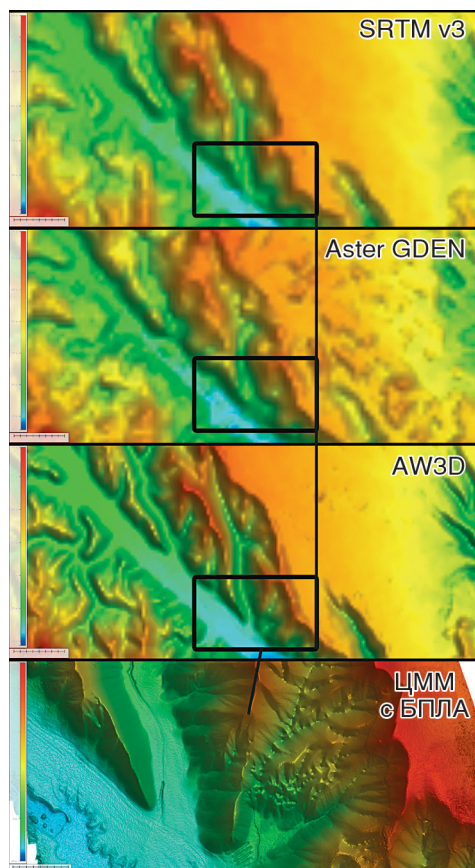
метрии форм рельефа целесообразно дополнительно привлекать данные наземного лазерного сканирования, отражающие структуру отрицательных форм рельефа более полно и детально.

Современные технологии автоматизированной обработки и геоинформационного анализа цифровых моделей рельефа позволили определить и картографировать такие морфометрические параметры сложного рельефа бедленда как уклоны, вертикальную и плановую кривизны поверхности, построить модели линий тока, автоматически выделить и картографировать воронки и провалы, выделить области преимущественного распространения современных карстово-суффозионных и эрозионных процессов. Так, замкнутые водосборные бассейны потенциально могут рассматриваться как области преобладания карстово-суффозионных процессов, тогда как протяженные уступы в верхних частях крутых склонов

бедленда в наибольшей степени поражены микроручейковой эрозией.

Для дальнейших исследований данных объектов и выявления изменений в рельефе под влиянием карстово-суффозионных и эрозионных процессов необходимо проводить разновременные измерения с использованием комплекса наземных и воздушных методов: лазерного сканирования и съемок с БПЛА. Это позволит более надежно выявить взаимодействие современных наземных и подземных процессов, современное соотношение поверхностного и подземного стока.

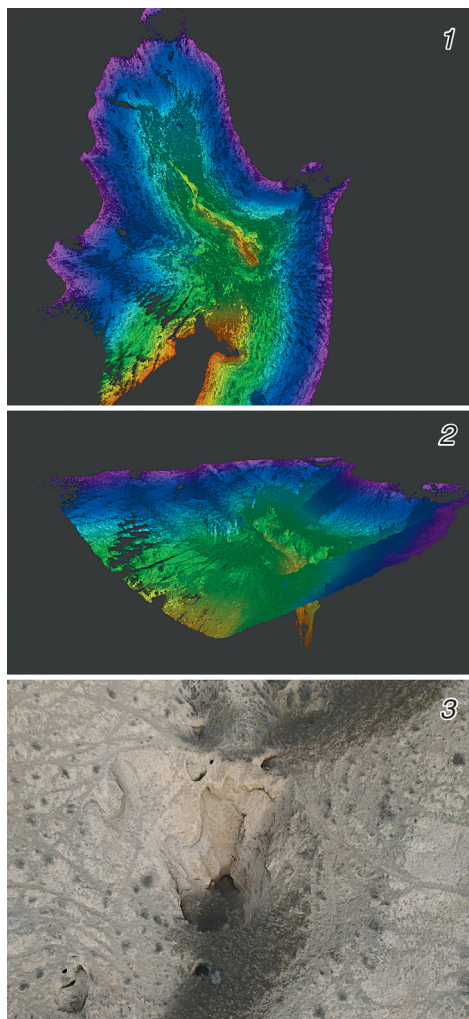
Детальность цифровых моделей местности, полученных по данным космических съемок (пространственное разрешение ок. 30 м) и съемки с БПЛА (пространственное разрешение 20 см)

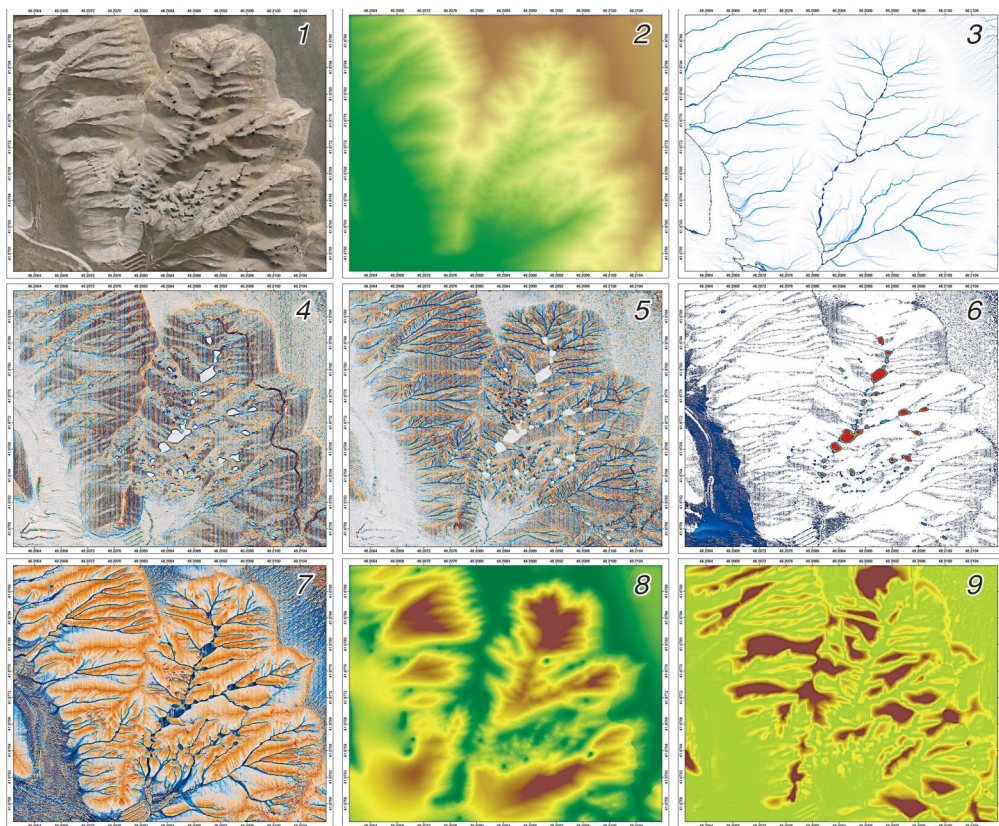


ИЗМЕНЕНИЯ РЕЛЬЕФА БАРХАНА САРЫКУМ

В геоморфологическом отношении Сарыкум представляет собой сложный эолово-аккумулятивный комплекс дюново-грядовых и бугристо-котловинных песков, распределение которых отчетливо фиксируется на высокодетальных

Плановая (1) и трехмерная (2) реконструкция рельефа крупного провала, выполненная по данным наземного лазерного сканирования; 3 – вид той же формы рельефа на аэрофотоснимке с БПЛА





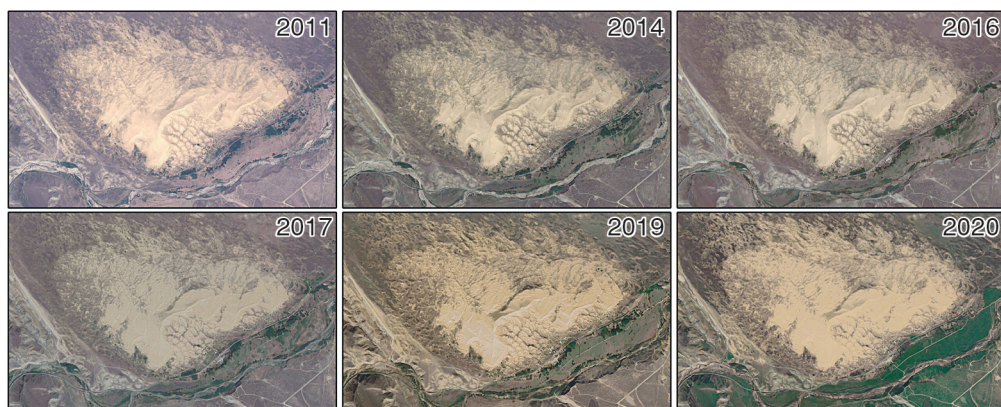
Материалы съемок участка бедленда с БПЛА и производные морфометрические и гидрологические модели: 1 – ортофотомозаика; 2 – цифровая модель рельефа; 3 – линии поверхностного тока; 4 – вертикальная кривизна поверхности; 5 – продольная кривизна поверхности; 6 – замкнутые впадины; 7 – области эрозионного смыва и накопления материала; 8 – замкнутые водосборы – области преобладающего развития карстово-суффозионных процессов; 9 – области преобладающего развития эрозионных процессов

космических снимках. Пески по внешней периферии массива в значительной степени закреплены растительностью, чему способствовало установление и соблюдение заповедного режима на этой территории с 1978 г.

В центральной части Большого Сарыкума с юго-запада на северо-восток поперек господствующему направлению ветров выделяется несколько протяженных дюнных гряд. Высота гребня главной гряды, протягивающейся на 1.4 км, достигает 245.7 м. Установленное направленное снижение высоты гребня главной гряды Большого Сарыкума с конца XIX в. на 16 м, и отмечающиеся

изменения положения дюнных гребней могут быть отчасти объяснены изменением направлений и скоростей господствующих ветров в условиях современных изменений климата равнинного Дагестана⁵. Усиление частоты экстремальных ливней в регионе за последние десятилетия потенциально также может

⁵ Более подробно этот вопрос рассмотрен в статье А.В. Гусарова, А.Г. Шарифуллина, Г.С. Джамирзоева «Современная высота золово-аккумулятивного комплекса “Сарыкум” (Республика Дагестан) и причины ее изменения», Известия РАН. Серия Геогр. № 6, 2017. С. 89–98.



Временная серия высокодетальных космических снимков (2011–2019) массива Сарыкум

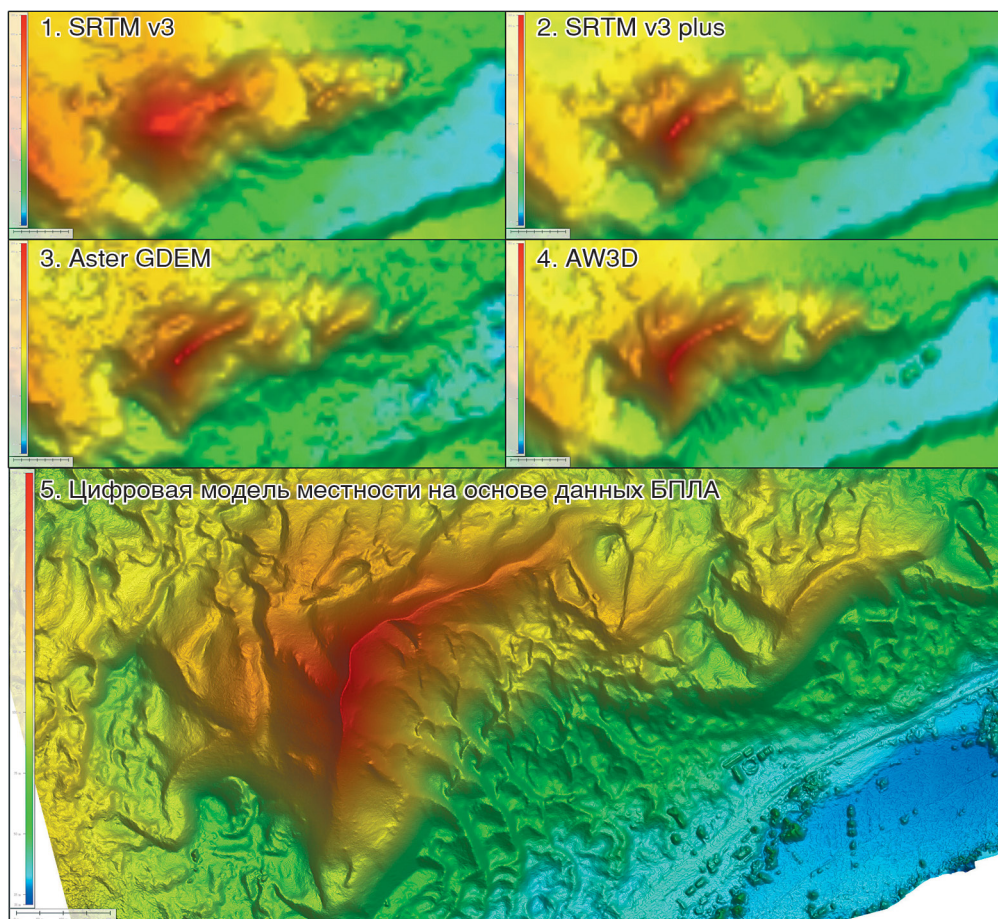
оказывать воздействие на активизацию эрозионных процессов в пределах незакрепленных дюнных песков.

Цифровые модели рельефа, полученные по данным космической съемки, позволяют выделить только общие закономерности рельефа массива Сарыкум, в частности основные гряды поперечных дюн. При анализе высокодетальных изображений и цифровых моделей рельефа, полученных с пространственным разрешением 8 и 50 см соответственно, можно идентифицировать более мелкие детали рельефа, свидетельствующие о различной интенсивности и разнообразии экзогенных процессов, протекающих в пределах массива Сарыкум. Для поперечных дюнных гряд в динамическом равновесии характерно навевание песка в пригребневых частях с последующим его перемещением к подножьям гряд осыпными процессами с формированием специфических микрошлейфов вдоль крутых южных склонов поперечных дюн.

Микроручейковая и плоскостная эрозия также моделирует облик склонов поперечных дюн. При перемещении незакрепленных песков формируются небольшие подвижные барханы до десятков метров в поперечнике, обширные котловины выдувания, грядовый микро- и нанорельеф. Вокруг единичных закрепившихся на склонах массива крупных растений (виды полы-

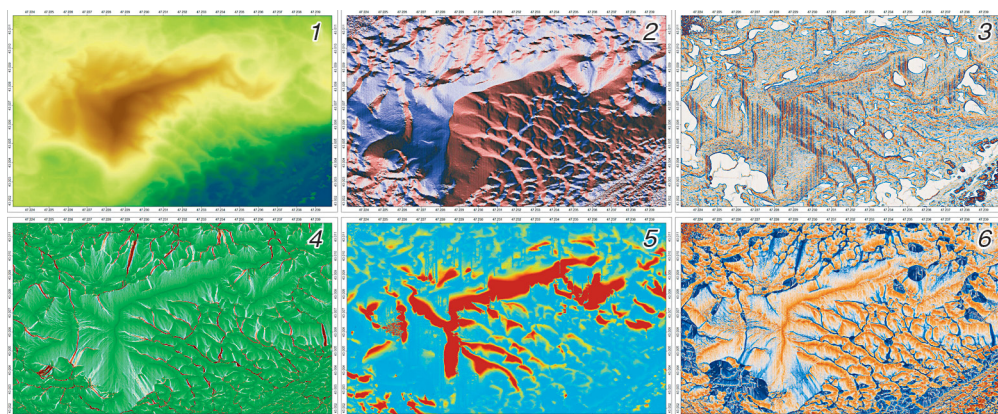
ни, астрагала, ивы, изредка встречаются даже низкорослые тополя) после сильных ветров формируются крупные шлейфы песка, задерживающие его перемещение, а также геометрически правильные окружности, прочерчиваемые в песке вращающейся под действием ветра надземной частью растения.

Автоматизированное распознавание разнообразных по происхождению, генезису и ориентировке по направлению к господствующим ветрам форм микрорельефа массива Сарыкум было проведено при помощи производных морфометрических и гидрологических моделей, построенных по высокодетальной модели рельефа. Выделение котловин выдувания возможно по минимальному пороговому значению вертикальной кривизны поверхности. На южной периферии массива обособлены крупные замкнутые котловины выдувания, отличающиеся специфическим грядовым микрорельефом, отражающим детальность вихревых воздушных потоков; сложные по плановой и вертикальной структуре бугристо-котловинные пески и т. д. Северный макросклон массива Сарыкум формируют гряды поперечных дюн, рассеченные понижениями, ориентированными почти перпендикулярно к направлению гряд и параллельно направлению господствовавших в середине XX в. северо-западных и юго-восточных ветров.



Детальность цифровых моделей местности массива Сарыкум, полученных по данным космических съемок и съемки с БПЛА





Морфометрические и гидрологические модели массива Сарыкум: 1 – цифровая модель рельефа; 2 – экспозиция склонов; 3 – вертикальная кривизна поверхности; 4 – линии поверхностного стока; 5 – фактор крутизны и протяженности склонов; 6 – области эрозионного и эолового сноса и преимущественного накопления материала

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

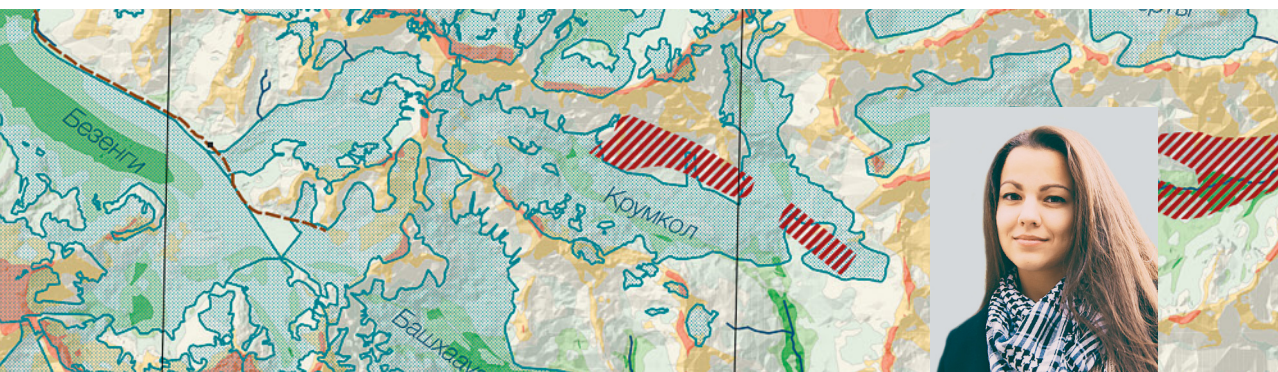
В силу различных характерных времен и масштабов проявления рассмотренных нами экзогенных процессов апробированные и предлагаемые системы мультиплатформенного мониторинга имеют различные схемы в соответствии со спецификой рассмотренных территорий.

Для реконструкции динамики дельты реки Самур в ее приустьевой части и изменений положения береговой линии были привлечены продолжительные временные серии пространственных данных из разных источников: исторические топографические карты, высокдетальные космические снимки и снимки среднего разрешения, материалы аэрофотосъемок с БПЛА. Их комплексное использование позволило реконструировать длительные изменения морфологии дельты и ее береговой линии, связанные с динамикой уровня Каспийского моря, антропогенно-индуцированными изменениями стока реки за длительный период времени.

Основным источником данных для детального картографирования геоморфологических особенностей и современных экзогенных процессов в пределах бедленда и на массиве Сарыкум являлись цифровые модели рельефа высокого разрешения, полученные по данным съемок с БПЛА. Среди различных методов для сбора трехмерных данных съемки с БПЛА имеют преимущество в силу доступности и низкой себестоимости. Преимущества этих платформ очевидны при исследовании рельефа засушливых районов Западного Прикаспия, где рельеф практически не экранирован растительностью, что облегчает задачу получения ЦМР по данным съемки с БПЛА. Для более детального исследования и трехмерной реконструкции крупных отрицательных форм рельефа: воронки, провалы, котловины выдувания – необходимо дополнительно использовать данные наземного лазерного сканирования.

Работа выполнена по Госзаданию
№ АААА-А19-119022190168-8

ОБЪЕМНЫЙ РЕЛЬЕФ НА ПЛОСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ: ИССЛЕДУЕМ СЕЛИ И ЛАВИНЫ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ



ЗОРИНА Виктория Викторовна,

магистрант

МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет

DOI: 10.7868/50044394821050030

Опасные процессы высокогорных территорий, особенно сели и лавины, являются причиной мощных и катастрофических изменений в географических средах Земли. Такие явления неблагоприятно сказываются на жизни и деятельности людей, проживающих в высокогорных районах, или приезжих, посещающих горы для отдыха и спортивного интереса. Ежегодно тысячи туристов посещают горнолыжные курорты, ходят в походы, занимаются спортом и просто наслаждаются красотой и величием гор, зачастую забывая, насколько они могут быть опасны. В России такой привлекательностью обладает Центральный Кавказ, наиболее высокая часть Большого Кавказа, расположенная между вершинами Эльбрус и Казбек. Объектом нашего исследования был выбран бассейн ледника Безенги, с высотами около 5000 м и разнообразием рельефа, который может угодить не только любителям экстремальных походов и покорителям вершин, но и тем, кто предпочитает зимние виды спорта. Однако, включая новости по ТВ, часто можно услышать о сходах лавин, несчастных случаях или тяжелых положениях туристов в горах. Поэтому особой значимостью обладают исследования опасностей – ведь однажды это может спасти жизни людей.

Первые исследования опасных природных процессов центрального района Главного Кавказского Хребта проводились в XIX в. Необходимо было инженерное сопровождение проектирования Военно-Грузинской дороги, которая и по сей день связывает Россию,

Грузию и Армению. Однако раньше такие исследования занимали большое количество времени и сил, и даже представляли некоторую опасность для ученых – в силу тяжелых условий это была настоящая проверка на прочность. Селевые и лавинные катастрофы несут

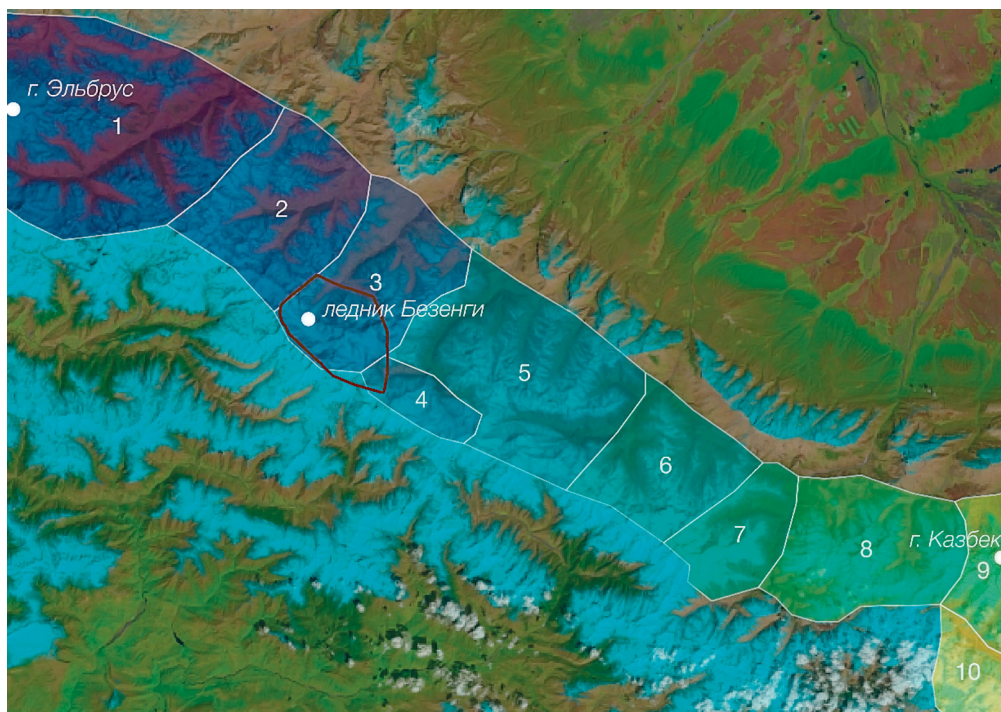


Схема районирования Центрального Кавказа. Красным выделены границы объекта исследований. Цифрами на снимке указаны: 1 – Приэльбрусье, 2 – Чегем, 3 – Безенги, 4 – Фытнаргин, 5 – Дигория, 6 – Караугом, 7 – Цей, 8 – Тепли-Джимарай, 9 – Приказбечье, 10 – Кельское вулканическое плато. Источник: Гвоздецкий Н.А. Кавказ. – М.: Государственное издательство географической литературы, 1963. – 262 с.

постоянную угрозу населению долин горных рек Кавказа на протяжении многих и многих лет, поэтому в настоящее время разрабатывается множество методик и технологий для определения и прогнозирования возникновения опасности, которые позволят подойти к решению проблемы оперативно.

СЕЛИ И ЛАВИНЫ – КАТАСТРОФИЧЕСКИ ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

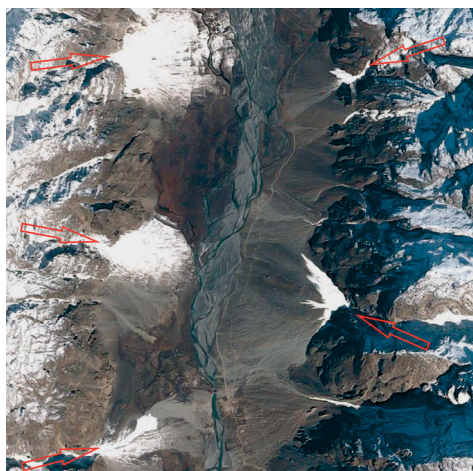
А что же такое опасные природные процессы? Они меняют компоненты окружающей среды основательно и бесповоротно. Каждый опасный природный процесс имеет свою физиче-

скую сущность и присущие ему причины возникновения. Самыми интересными для изучения можно считать сели и лавины – они обладают быстротой возникновения и их практически невозможно спрогнозировать с высокой точностью.

Сель – стремительный русловый поток, состоящий из смеси воды и обломков горных пород, внезапно возникающий в бассейнах небольших горных рек. Для него характерны резкий подъем уровня воды и пульсационное движение. Обычно сели – это кратковременные явления, но они имеют значительный эрозионно-аккумулятивный эффект. Формирование селевых потоков в высокогорье предполагает определенные геолого-геоморфологические



Визуальное дешифрирование селей на Центральном Кавказе, Эльбрусский район Кабардино-Балкарская Республика (2012 г.). Стрелкой указано направление селевого потока, также обведен крупнообломочный материал, сносимый со склона.
Источник снимков: <https://yandex.ru/maps>, дешифрирование выполнено автором



Визуальное дешифрирование лавин в Гималаях, штат Джамму и Кашмир, Индия (2017 г.). Стрелками указаны зоны аккумуляции снега. Источник снимков: <https://yandex.ru/maps>, дешифрирование выполнено автором

и ледниковые условия. Рельеф играет важную роль в формировании селей и определяет мощность потоков и количество выносимого материала. На космических снимках сели дешифрируются по визуальным признакам. Внимание уделяется перегибам, оврагам и промоинам, скопившемуся рыхлому материалу и каменным глыбам, хаотически расположенным на возделываемой территории, если сель уже сошел. Полосчатая структура изображения, направленная вниз по склону, отображает линии движения катастрофических масс. Также можно определить по линиям отрыва льда, при дешифрировании ледниковых селей.

Снежная лавина – это движение снежной массы со склонов гор под действием силы тяжести. Для схода лавин, помимо климатических особенностей, необходимы специфичные количественные или морфометрические условия рельефа – крутизна склонов от 20 до 50°. К факторам формирования лавин также относят высоту снежного покрова, плотность снега, интенсивность снегопада, температурный режим воздуха и снежного покрова, приrost свежевыпавшего снега и перенос снега метелями. Для сошедших лавин основным дешифровочным признаком является скопление снежного материала у подножия крутых склонов, с характерными конусообразными формами.

В настоящее время активным изучением опасных процессов на Кавказе занимается Центр географических исследований Кабардино-Балкарского научного центра РАН, в рамках комплексных исследований подверженности геосистем Центрального Кавказа опасным экзогенным процессам. Ученые проводят оценку фактической селевой опасности с применением методологии численной интегральной оценки с учетом синергетических эффектов и их сравнения по степеням опасности.

Однако изучение опасных процессов исследуемой территории – нетривиальная и важная задача. Необходимо оценить сложности дальнейшего использования территории, ведь от этого зависит безопасность отдыхающих и местных жителей. Для этого используют высокоточные материалы дистанционного зондирования Земли. Они позволяют не только получить актуальную информацию о состоянии природных систем на локальном уровне, но и сосредоточить внимание на наиболее опасных областях и получить комплексную оценку территории.

Пока изученность опасных процессов высокогорья Кавказа остается на региональном уровне. Но благодаря космическим снимкам создание картографического материала крупного масштаба для нужд туристско-рекреационной деятельности превращается в настоящую исследовательскую работу с конечным прикладным результатом.

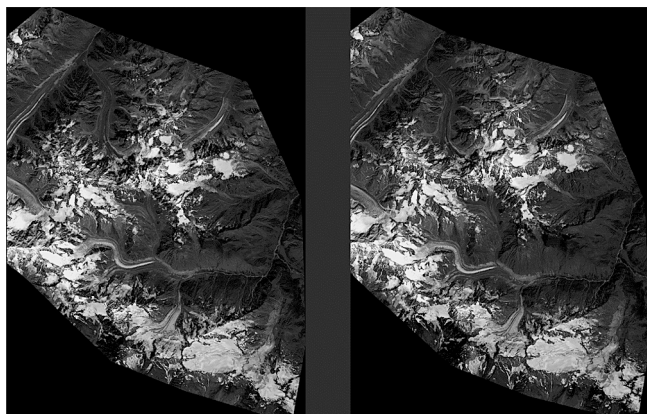
КАК ПОЛУЧИТЬ ОБЪЕМНУЮ МОДЕЛЬ МЕСТНОСТИ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ?

Данные дистанционного зондирования Земли более чем применимы для получения информации о рельефе. Но поскольку для него характерна трехмерность изображения, то вся суть использования космических снимков сводится к стереоскопическому изучению рельефа или построению цифровых моделей рельефа (ЦМР). По факту ЦМР представляют собой растровое изображение-сетку с определенным положением в пространстве, где каждый пиксель обладает абсолютными значениями высот. Впервые подобные работы ученые провели в 1986 г. путем конвергентной стереосъемки с разных ракурсов, при которой многоугольной сканер проходит вдоль маршрута

«вперед-назад», получая одновременно несколько перспективных снимков с различными углами наклона. Основное положение построения ЦМР – определение каждой точки земной поверхности тремя координатами – X , Y , Z в определенно ориентированной пространственной системе координат. Два снимка одного и того же участка местности, перекрывающиеся между собой (стереопара), дают трехмерную характеристику местности. Получается, что, имея пару снимков одной и той же местности, снятых под разными углами, а также элементы ориентирования этих снимков относительно друг друга, становится возможным вычисление той самой заветной Z -координаты, или другими словами – абсолютной высоты местности. Однако это достаточно трудоемкий процесс: приходится кропотливо и внимательно вести расчеты. Опытные картографы-фотограмметристы с помощью специального оборудования наблюдают стереоскопические пары и находят элементы ориентирования.

Сейчас развитие методик построения моделей носит динамичный характер, с ростом качества получаемых со спутника изображений растет и качество моделей, разрабатываются новейшие методики обработки информации. Большая часть обработки снимков автоматизирована, выполнение расчетов занимает значительно меньше времени. Однако многие научные сотрудники, работающие в этой сфере, отмечают: ничто не заменит опытный человеческий глаз. Контроль машины со стороны человека – это необходимость, следование которой повышает качество результатов построения моделей.

В рамках исследования опасностей, происходящих на Кавказе, решено использовать снимки, снятые с помощью наклонных сканеров. Качающееся зеркало сканера спутниковой системы по-

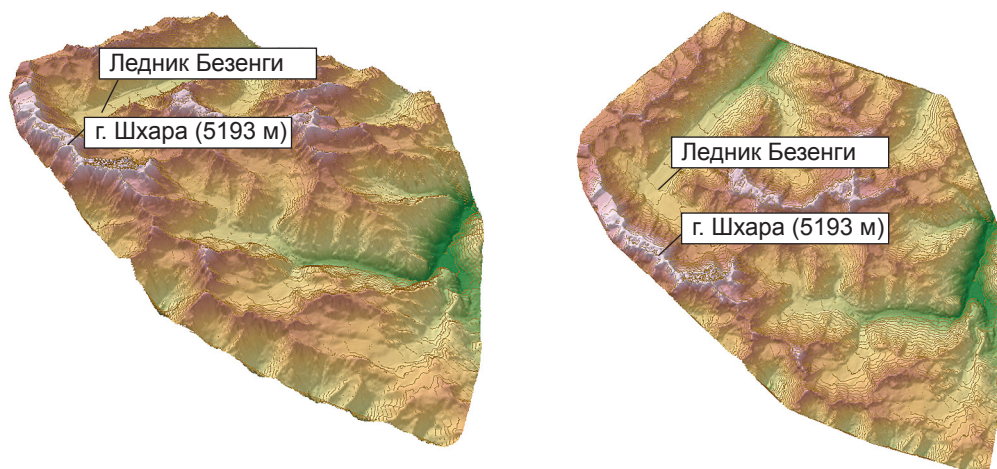


Пример стереопары аэрокосмических снимков Pleiades на изучаемую территорию бассейна ледника Безенги. Французское национальный центр космических исследований (Pléiades Glacier Observatory initiative of the French Space Agency)

следовательно просматривает местность поперек съемочного маршрута, улавливает излучение, идущее от небольших площадок местности и направляет его на приемник, преобразующий это излучение в электрический сигнал, который по радиоканалам тут же передается на Землю. В качестве спутниковой системы, позволяющей получить две стереопары высокого разрешения, были выбраны Pleiades за летний сезон и RPC коэффициенты быстрого позиционирования, позволяющие математически оптимизировать географическую привязку снимков, предоставленные Национальным центром космических исследований Франции (CNES). Эти материалы обладают высоким разрешением, что позволит получить высокоточную модель для решения прикладных задач как на локальном, так и на региональном уровнях. Простота их использования заключается в автоматическом ориентировании стереопары по RPC-коэффициентам – это коэффициенты полино-

мов рациональных функций. Данный метод быстрого позиционирования обеспечивает компактное представление геометрии сканируемой поверхности к изображению, позволяя выполнять фотограмметрическую обработку. При этом координаты точки изображения формируются в виде соотношений кубических полиномов в координатах местности.

Один из результатов успешного построения ЦМР получен в Erdas Imagine Toolbox, IMAGINE Photogrammetry – это программный продукт, предназначенный для обработки цифровой, радиометрической (яркостной), геометрической пространственной информации геопространственных и других изображений. При обработке часть алгоритмов выполняется в полуавтоматическом режиме – это радиометрическая и геометрическая коррекция стереопары, ориентирование, нахождение элементов ориентирования. Исследователь задает необходимые параметры расчетов, а машина выполняет все необходимые вычисления согласно заданным параметрам для каждого пиксела, которых в изображении несколько сотен тысяч. Необходим грамотный подход к подбору характеристик и опций выполнения алгоритма, задание нужных параметров. Выходным результатом представляется растровое изображение – ЦМР, где значение каждого пиксела – абсолютная высота местности. Изначально была проведена попытка построения с минимальными потерями качества исходных материалов: из снимков с разрешением 0.5 м в ЦМР с разрешением 1 м/пиксел. Однако выполнение алгоритма требует высоких аппаратных возможностей, что вынуждает уменьшить разре-



Результат построения цифровой модели рельефа по аэрокосмическим снимкам. Благодаря объемной визуализации построенной модели можно определить геометрическое подобие форм рельефа ЦМР и исследуемой территории, в частности определить конкретные вершины

ние до 4 м/пиксел. Каждая попытка построения высокоточной модели рельефа доказала, что RPC-коэффициентов недостаточно: необходимо проведение уточнения параметров модели непосредственно на местности путем геодезических измерений опорных точек.

Важнейшим этапом завершения обработки космических снимков является верификация построенной модели рельефа. Без нее невозможно быть наверняка уверенным в качестве полученных результатов и определить, возможно ли дальнейшее применение ЦМР. Процесс верификации значений высот модели рельефа заключается в сравнении полученной модели с доступной в открытых источниках и репозиториях эталонной SRTM DEM – международного исследовательского проекта по созданию цифровой модели высот Земли с помощью радарной топографической съемки ее поверхности. Чтобы придать сравнительному анализу больше математической обоснованности, с помощью растровой алгебры была посчитана разница значений высот каждой ячейки между построенной моделью

и SRTM DEM. При допустимом пороге высот в 30 м, основанном на учете вертикальных линейных ошибок, можно заключить, что построенная модель пригодна для дальнейшего анализа опасных процессов более чем на 80%.

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА

Геолого-геоморфологические аспекты формирования селей и лавин – ключевые при исследовании опасных процессов в условиях высокогорья. Под ними подразумевается анализ геологических особенностей и рельефа (включает в себя морфометрию и морфологию рельефа), а также пространственное объединение двух факторов для наглядного представления об опасности территории по совокупным геолого-геоморфологическим особенностям.

Первый фактор, рассматриваемый в геолого-геоморфологическом аспекте – геологический. Например, благодаря знаниям о геологии данной территории можно оценить ее предрасполо-

женность к возникновению селей и лавин по следующим признакам:

- литологический состав (состав горных пород осадочного происхождения), геолого-генетические комплексы, мощность отложений;

- структурно-тектонические элементы и их расположение (тектонический план территории);

- гидрогеология, выход подземных вод на поверхность, положение уровня грунтовых вод;

- современные орографические процессы, характер неотектонических движений (тектонические движения, сформировавшие основные черты современного рельефа Земли).

Для получения данных о геологии района в ходе работы была оцифрована геологическая карта, составленная в Федеральном государственном унитарном геологическом предприятии «Кавказгеолсъемка» по заказу Департамента природных ресурсов по Северо-Кавказскому региону картографом Е.А. Оленевой, геологом Н.Ю. Смирновой. Источник информации о геологии исследуемого района: каталог картографических фондов отдела геологической информации ВСЕГЕИ. Геологическая карта предоставляет обобщенную информацию о возрас-

те и петрографии исследуемого района, что в дальнейшем позволит использовать информацию для составления крупномасштабных карт опасных процессов.

Второй фактор, рассматриваемый в геолого-геоморфологическом аспекте – геоморфологический. Информацию о рельефе можно получить из цифровой модели, о построении которой было рассказано в предыдущем разделе. Так, для формирования селей и лавинообразования характерны следующие геоморфологические условия:

- геоморфологические области;

- морфологические характеристики рельефа (типы и формы рельефа, например, долины, склоны и т. д.);

- морфометрия (количественные характеристики, например, крутизна, экспозиция, расчлененность и т. д.);

- происхождение форм рельефа.

Итак, алгоритм выполнения пространственного анализа геолого-геоморфологических аспектов можно представить в виде блок-схемы, и в зависимости от типа и формы рельефа провести анализ площади занимаемой территории процессом в процентном соотношении на всю территорию объекта ($S = 488 \text{ км}^2$) исследований с кратким описанием.

Блок-схема методики выполнения пространственного анализа геолого-геоморфологических аспектов с применением цифровой модели рельефа



ГДЕ В ГОРАХ КАВКАЗА ПОДСТЕРЕГАЕТ ОПАСНОСТЬ?

Чаще всего анализ характеристик рельефа завершается картографическим методом, поскольку карта является важнейшим итогом выполненных работ, наглядно отображающим полученные результаты.

Морфологические характеристики рельефа (типы, формы) в совокупности с геологическими особенностями обладают свойствами, при которых по отдельности каждая компонента не предоставит комплексной оценки predisposedности территории к процессу. Располагая пространственными данными о типе горных пород, можно просчитать площадь потенциальных участков, благоприятствующих возникновению данных процессов. Например, для бассейна ледника Безенги (самый большой и сложный долинный ледник Центрального Кавказа длиной 17.6 км и общей площадью 36.2 км²) общий процент территории, сложенный рыхлыми горными породами, составляет порядка 6%. Также стоит учесть полускальные горные породы, где их мягкость и рыхлость определена не только химическим составом, но и подверженностью физическому и химическому выветриванию. Такие участки обладают средней вероятностью возникновения селевых опасностей. В общей сложности 9% от площади исследуемой территории (44 км²) можно оценить как территории с благоприятными геологическими условиями для возникновения селей.

Рассмотрев вместе геологический и геоморфологический факторы, процент занимаемой площади селеопасными территориями возрастает в несколько раз:

- наибольшую опасность представляют некоторые зоны ледника – это

преимущественно днища крупных долин, сложенные речными галечниками, песками и мореной (как зоны конвергенции потоков) и склоны крупных долин, сложенные рыхлыми и полускальными горными породами: глинистые сланцы, песчаники (как зоны активных процессов разрушения грунта);

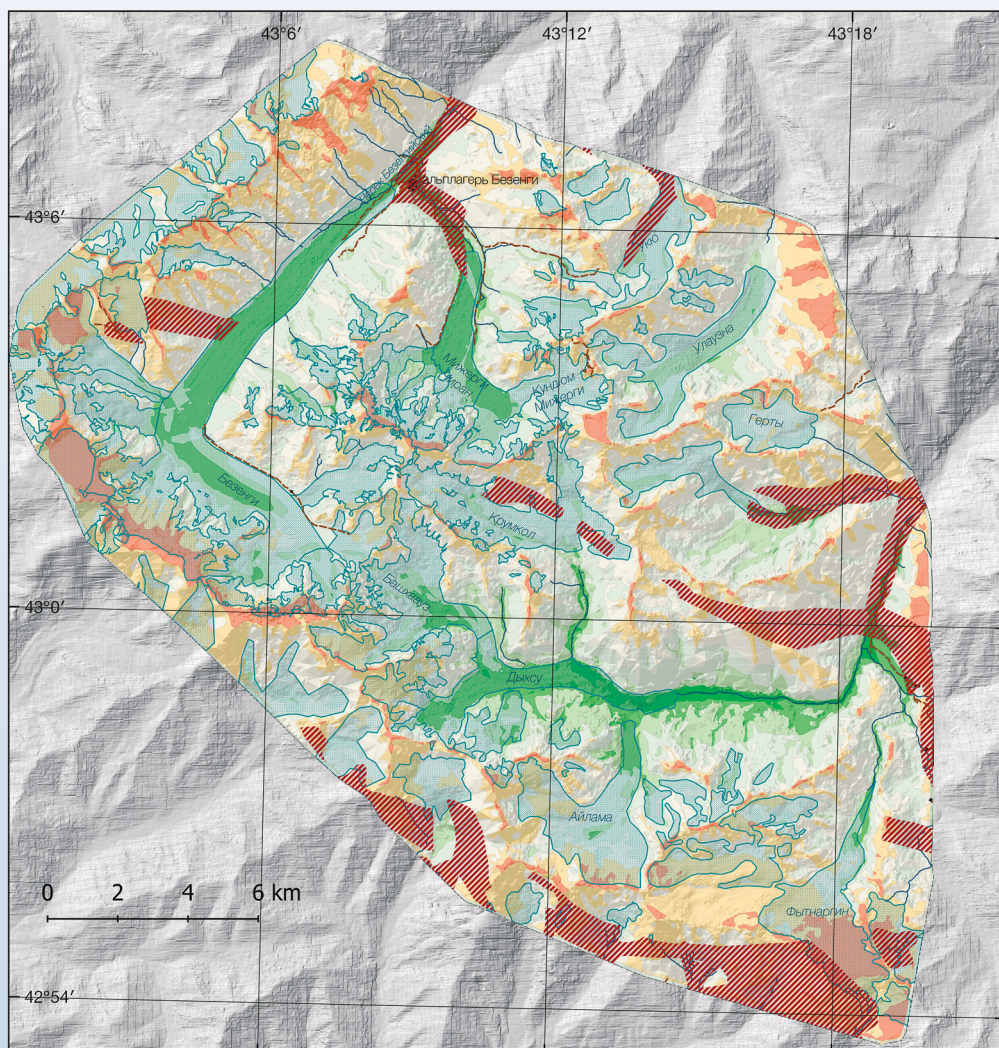
- особое внимание следует уделить пропускной способности узких участков долин, поскольку именно эти зоны могут быть predisposedны как к накоплению обломочного материала селевых потоков, так и снежного материала с последующим выносом в виде лавин;

- необходимо установить классы опасности участков территории с выделением очагов формирования селей и лавин (табл. 1).

Полученные классы могут быть соотнесены с основными очагами и зонами транзита, накопления таких опасных природных процессов, как лавины и сели. Результаты являются потенциальной основой для оценки современного состояния объекта исследований – центрального района Главного Кавказского Хребта, район ледника Безенги. Однако стоит отметить необходимость дополнительной информации в виде гидрогеологических данных, сейсмической динамикой микроклиматической характеристики для возможности прогноза опасных явлений.

НЕОБХОДИМОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ – ДОКАЗАНА!

Проведенная автором работа посвящена применению аэрокосмических снимков для изучения опасных процессов высокогорных территорий, а именно селей и лавин. Для этого были рассмотрены основные географические условия, а также физико-географические условия формирования селей и лавинообразо-



Классы морфроструктур

	Подножия склонов		Лесные массивы
	Днища крупных долин		Ледники
	Обширные субгоризонтальные террасы		Гидросеть
	Склоны крупных долин		Постройки
	Выступы, локальные хребты		Дорожная сеть
	Хребты		Потенциальные опасные зоны
	Вершины возвышенностей		

Потенциально опасные зоны в условиях высокогорья Кавказа в районе бассейна ледника Безенги. Наибольшую селевую и лавинную опасность представляют зоны, выделенные бордовой штриховкой

Таблица 1

Характеристика морфологических комплексов территории объекта исследований

Морфологические комплексы	Площадь занимаемой территории (%)	Описание
Днища крупных и мелких долин	4.26	Зона активной аккумуляции (накопления) продуктов сноса твердого материала. Возможно образование селевых потоков. Наибольшую опасность представляет линейная эрозия временных и постоянных водотоков
Подножия склонов	26.01	Зона активной аккумуляции (накопления) продуктов сноса твердого материала, формирования линейного стока, развитие эрозии, возможно образование селевых потоков
Обширные субгоризонтальные террасы	13.25	Зона слабых экзодинамических процессов
Склоны крупных долин	9.22	Зона денудации (сноса) продуктов разрушения твердого материала. Наиболее подвержена плоскостной эрозии. Потенциальная зона транзита лавин
Выступы	17.83	Зона активной денудации (сноса) продуктов разрушения твердого материала. Потенциальные зоны зарождения лавин
Хребты	14.84	Зона активной денудации (сноса) продуктов разрушения твердого материала. Потенциальные зоны зарождения лавин
Вершины возвышенностей	4.59	Зона активной денудации (сноса) продуктов разрушения твердого материала. Потенциальные зоны зарождения лавин

вания исследуемой территории. Выбор объекта исследований обусловлен тем, что эти процессы обладают наибольшей разрушительной силой в условиях высокогорья. Основным материалом для получения информации о рельефе служат стереопары снимков спутниковой системы Pleiades High Resolution французского национального космического агентства (CNES), по которым построена цифровая модель рельефа центрального района Главного Кавказского Хребта, бассейн ледника Безенги. На основе полученной ЦМР рассчитаны морфометрические и морфологические характеристики рельефа, которые послужили основаниям для выделения и анализа процессов.

Подводя итог проделанной работы, можно заключить, что аэрокосмические

снимки более чем пригодны для анализа рельефа высокогорных территорий. Путем сложных математических вычислений и нестандартного подхода к применению результатов работы алгоритмов, можно получить математически подтвержденную информацию, которая, возможно, поможет в дальнейшем предотвратить катастрофические явления.

На данный момент выполняется расширение областей исследования относительно выделения зон селевой и лавинной опасностей, а именно – рассмотрение других факторов формирования катастрофических явлений и картографирование селей и лавин с учетом геологических, геоморфологических и климатических факторов, дополнение и апробация методики для других районов Кавказа.

ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ «ИКИ-МОНИТОРИНГ»: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ



ЛУПЯН Евгений Аркадьевич,

доктор технических наук

ПРОШИН Андрей Алексеевич,

кандидат технических наук

БУРЦЕВ Михаил Александрович,

кандидат технических наук

Институт космических исследований Российской академии наук

DOI: 10.7868/50044394821050042

В последние десятилетия наблюдается стремительное развитие спутниковых систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). При этом и быстро увеличивается число спутников ДЗЗ, и происходит фактически взрывной рост объемов спутниковых данных. Наиболее значимый прогресс в области развития и применения систем ДЗЗ произошел в XXI веке. Именно в это время не только резко расширились возможности спутниковых наблюдений Земли, но появились и стали наиболее активно использоваться системы нового поколения, которые позволяют получать не только информацию для качественных оценок наблюдаемых явлений и объектов, но и хорошо калиброванные и пространственно-привязанные данные, которые могут быть использованы для количественных оценок и моделирования различных процессов, происходящих на Земле. Фактически, появление таких систем открыло новую эру спутникового дистанционного зондирования и позволило приступить к созданию принципиально новых, высокоавтоматизированных технологий работы с данными ДЗЗ. Эти технологии обеспечивают организацию эффективной работы со сверхбольшими массивами данных, полученными при проведении постоянных спутниковых наблюдений практически в любом регионе нашей планеты.

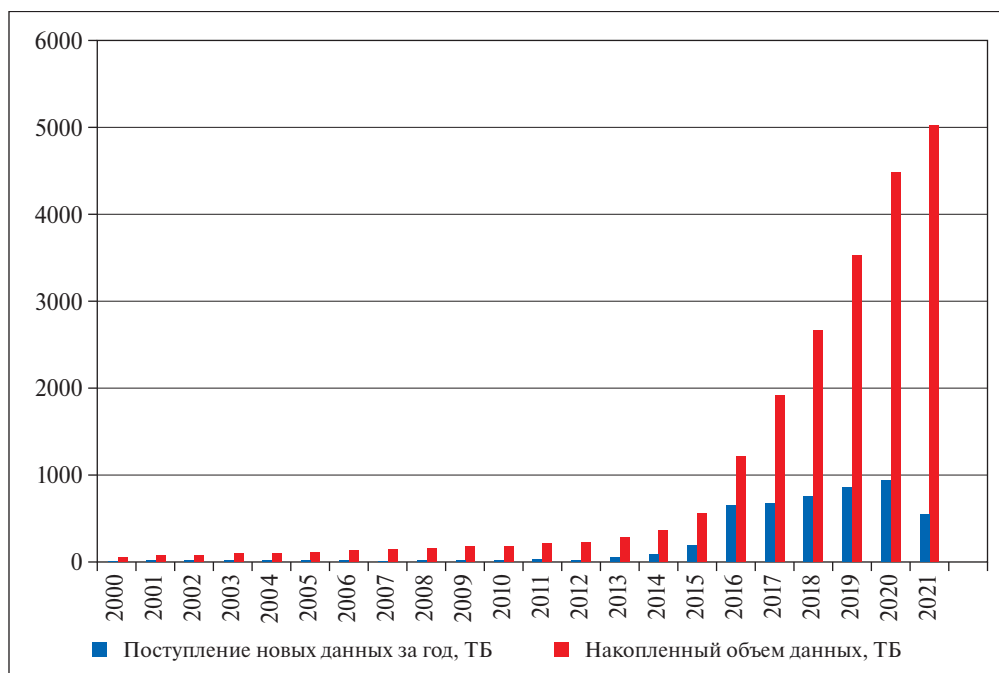
Кроме этого, существенно повысилась доступность спутниковой информации. Во многих случаях ее получение стало свободным и бесплатным. Все это позволило не только эпизодически наблюдать различные объекты, но и вести их постоянный мониторинг и контроль различных явлений и процессов, происходящих на нашей планете.

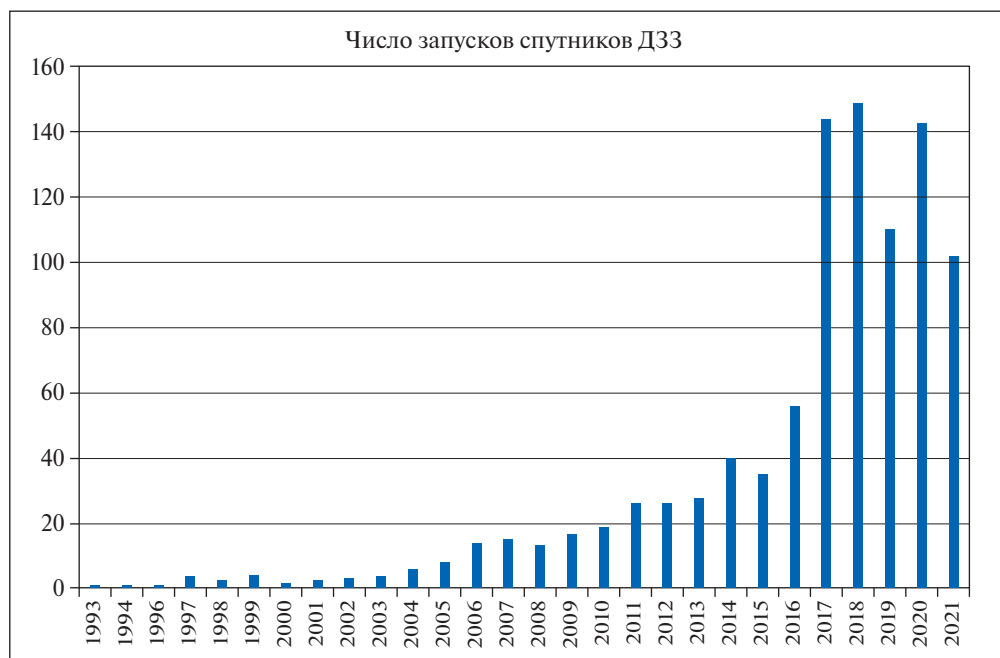
Возможность получать спутниковую информацию по низкой стоимости или бесплатно существенно расширила возможные области ее использования в научных исследованиях и стала одним из наиболее значимых факторов, повлиявших на развитие систем ДЗЗ в последнее десятилетие. Именно доступность информации привела к практически взрывному росту разработок в рассматриваемой проблемной области и к началу действительно массового использования этих данных для решения различных фундаментальных и прикладных задач.

Можно констатировать, что в настоящее время появился доступный измерительный инструмент, отвечающий требованиям исследователей различных процессов и объектов на Земле. В совокупности он обладает следующими уникальными свойствами:

- **глобальностью** зоны наблюдений, т. е. возможностью увидеть то, что нельзя охватить другими системами наблюдений в течение коротких сроков;
- **объективностью** получаемой информации, т. е. независимостью результатов от наблюдателя (пользователя) и условий измерений;
- **высокой повторяемостью**, т. е. возможностью обеспечить сбор рядов данных, необходимых для слежения за динамикой различных процессов;
- **воспроизводимостью**, т. е. возможностью получения доступа различным группам ученых к одному и тому же набору данных для неза-

Рост числа запусков спутников ДЗЗ (1993–2021 гг.)





Пример роста объемов спутниковых данных (на примере анализа информации, полученной за различные годы и доступной пользователям)

висимых проверок полученных результатов;

- **наличием архивов долговременных** непрерывных наблюдений, в ряде случаев за срок около 40 лет.

Все это, естественно, привело к быстрому расширению области применения спутниковых технологий.

При этом остро встала задача организации эффективной работы со спутниковыми данными. Потребовалось разработать принципиально новые подходы и методы.

НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ СО СПУТНИКОВЫМИ ДАННЫМИ

Быстрый рост глобальных компьютерных сетей и появившаяся возможность быстрого получения значитель-

ных объемов спутниковых данных из центров их сбора и обработки породила в начале XXI столетия схему работы с данными ДЗЗ, которую можно назвать «традиционной». Она пока еще достаточно часто используется при организации работы со спутниковыми данными в различных научных проектах и информационных системах.

Ее особенность состоит в том, что в проектах и информационных системах, в которых используются данные ДЗЗ, создаются собственные программно-аппаратные комплексы работы с ними. Эти комплексы обеспечивают получение данных, их архивацию, обработку и анализ, а также представление данных и результатов их обработки локальным и удаленным участникам проектов и пользователям информационных систем.

На создание таких компонент в рамках отдельных проектов и систем уxo-

«ТРАДИЦИОННАЯ» схема работы с данными ДЗЗ



ОСНОВНЫЕ НЕДОСТАТКИ:

- Необходимость в развертывании дорогостоящей инфраструктуры для хранения и обработки данных
- Затраты на разработку и приобретение специального программного обеспечения
- Необходимость освоения сложных разнородных программ



«Традиционная» схема работы со спутниковыми данными

дит много сил и средств. Тем не менее, и сегодня подобная схема работы с данными ДЗЗ продолжает активно использоваться. Однако при быстром и постоянном росте объемов доступных данных «традиционная» схема становится малоэффективной, в первую очередь из-за того, что финансовые, технические и трудовые ресурсы, необходимые для обеспечения ее поддержки, становятся настолько значительными, что их уже не могут себе позволить даже крупные проекты.

В то же время быстрое развитие технологий и систем, обеспечивающих возможность удобного использования распределенных вычислительных ресурсов и организации с их помощью работы со сверхбольшими и постоянно пополняющимися архивами спутниковой информации, позволило в последнее десятилетие разработать и начать активно использовать решения, основанные на новом («современном») подходе к организации работы с имеющимися возможностями спутниковых систем ДЗЗ.

Основная особенность «современной» схемы состоит в том, что как

у отдельных пользователей, так и у информационных систем появляется возможность не только получать информацию из центров сбора, обработки и распространения спутниковых данных, но и проводить ее обработку и анализ с использованием вычислительных ресурсов и инструментов, предоставляемых этими центрами. При этом для решения различных задач пользователи могут использовать достаточно развитые веб-интерфейсы, обеспечивающие функционал, который уже сегодня во многом не уступает специализированным, дорогостоящим «настольным» приложениям анализа спутниковых изображений. Информационные системы для организации работы с данными непосредственно в своей среде могут использовать предоставляемые центрами программные интерфейсы, обеспечивающие различные виды онлайн-получения, обработки и отображения спутниковой информации. При этом как получение, так и обработка информации осуществляется только в тех случаях, когда они будут

«СОВРЕМЕННАЯ» схема работы с данными ДЗЗ



ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА:

- Коллективное использование централизованных ресурсов для хранения, обработки и анализа данных
- Минимальные требования к вычислительным ресурсам пользователей
- Возможность работы из любой точки (при наличии Интернета)



«Современная» схема работы со спутниковыми данными

запрошены в работу пользователями или администраторами информационной системы. Все это на порядки сокращает объемы данных, которые информационные системы должны получать, обрабатывать и хранить. В такой ситуации практически полностью отпадает потребность в создании и поддержке сложных и дорогостоящих программных комплексов, работающих в интересах конкретных информационных систем и проектов для обеспечения обработки и анализа спутниковых данных.

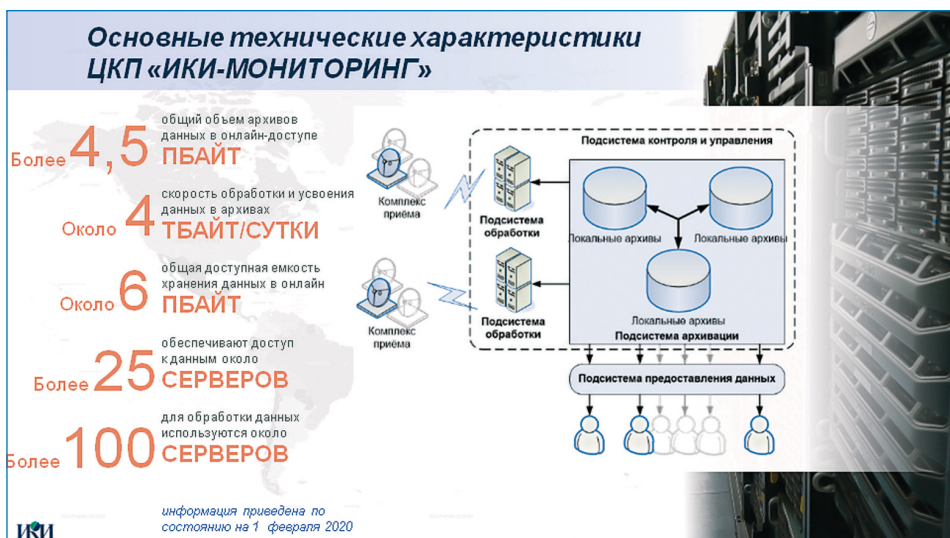
Для реализации систем работы со спутниковыми данными на основе «современного» подхода с начала 2000-х годов как у нас в стране, так и за рубежом активно разрабатываются новые технологии. Они, в частности, обеспечивают возможность полностью автоматизированного ведения сверхбольших распределенных архивов спутниковых данных, автоматизированную обработку данных для получения различных информационных продуктов, создание различных инструментов, обеспечивающих распределенный анализ данных.

В России такие технологии наиболее активно разрабатываются и внедряются в Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН).

ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЦЕНТРА КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ «ИКИ-МОНИТОРИНГ»

На основе разработанных в ИКИ технологий и «современного» подхода работы с данными ДЗЗ в 2012 г. был создан центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды «ЦКП ИКИ-Мониторинг»¹. Основной целью создания ЦКП было развитие принципиально новой инфраструктуры для работы с данными ДЗЗ, предназначенной для решения различных научных и прикладных задач и обеспечивающей не

¹ <http://ckp.geosmis.ru/>



Основные технические возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг»



Основные показатели использования ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в научных исследованиях

только доступ к многолетним, постоянно пополняющимся архивам спутниковых данных, но и возможность их обработки и анализа.

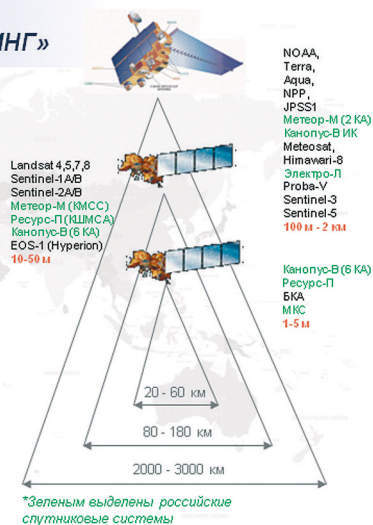
За время работы центра его возможности использовались для выполнения различных научных проектов, в том

числе поддерживаемых РНФ, РФФИ и Министерством науки и образования Российской Федерации. В 2019 г. центр вошел в число 18 объектов научной инфраструктуры, использование которых было поддержано РФН в рамках конкурса «Проведение исследований на

Основные спутниковые данные, с которыми работает ЦКП «ИКИ-МОНИТОРИНГ»

- В основном ориентирован на использование **РОССИЙСКИХ** и **ОБЩЕДОСТУПНЫХ** зарубежных данных
- Информация в систему поступает из **РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ЦЕНТРОВ** сбора, обработки и архивации спутниковых данных
- Обеспечивает работу с данными **БОЛЕЕ ЧЕМ 40 СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ**
- Обеспечивает работу с данными **БОЛЕЕ ЧЕМ 30 ТИПОВ ПРИБОРОВ** наблюдения
- **ГЛУБИНА АРХИВОВ** достигает **35 ЛЕТ**

Информация приведена на 15.02.2020



Основные типы данных, доступных пользователям ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

базе существующей научной инфраструктуры мирового уровня».

Возможности центра активно используются и в учебном процессе: около трети использующих центр организаций – образовательные. Для выполнения научных и образовательных проектов сегодня предоставляется свободный и бесплатный доступ к ресурсам ЦКП «ИКИ-Мониторинг».

Основные технические задачи, которые в настоящее время решает ЦКП «ИКИ-Мониторинг»:

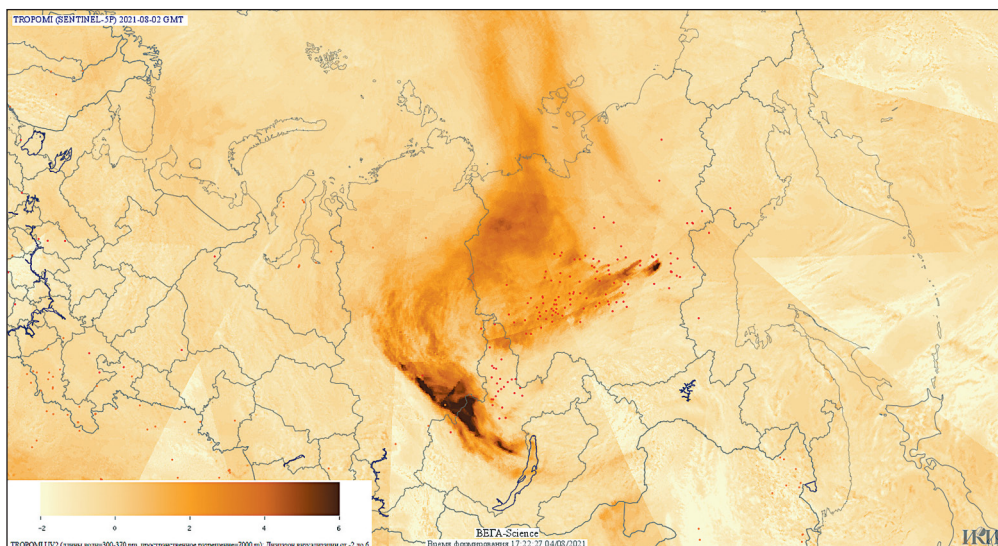
- сбор спутниковых данных;
- ведение архивов спутниковых данных и результатов их обработки;
- потоковая обработка спутниковых данных, для получения различных информационных продуктов;
- предоставление доступа к данным и инструментам для их анализа и обработки;
- автоматизированный контроль и управление различными программно-аппаратными блоками, входящими в состав центра, в том числе и удаленными.

За решение каждой из этих задач отвечает соответствующая подсистема центра. Особо отметим, что подавляющее число процессов работы со спутниковыми данными в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» полностью автоматизировано.

Ниже мы кратко представим основные текущие возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг», при этом особое внимание мы постарались уделить новым функциональным элементам, реализованным в центре в последние годы.

В настоящее время архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» содержат данные более чем 40 различных приборов наблюдения, установленных на отечественных и зарубежных спутниках ДЗЗ. Постоянно, по мере роста требований проектов, использующих возможности центра, расширяется зона интереса, по которой в центре осуществляется сбор и архивация данных. Благодаря сотрудничеству ИКИ РАН и Научно-исследовательского центра космической гидрометеорологии «Планета» Росгидромета²

² <http://planet.iitp.ru/>



Выбросы аэрозоля лесными пожарами в Якутии и Иркутской области 02.08.2021 восстановлены по данным прибора TROPOMI, спутник Sentinel 5P

пользователи центра имеют возможность работы с глобальными покрытиями данных, получаемых некоторыми российскими системами наблюдений. Область же покрытия данными спутников *Landsat* и *Sentinel*, имеющимися в архивах центра, составляет около 30% площади поверхности Земли. В неё входят вся Северная Евразия, включая арктические территории, приграничные моря России, а также ряд регионов в Африке, Азии, Северной и Южной Америке.

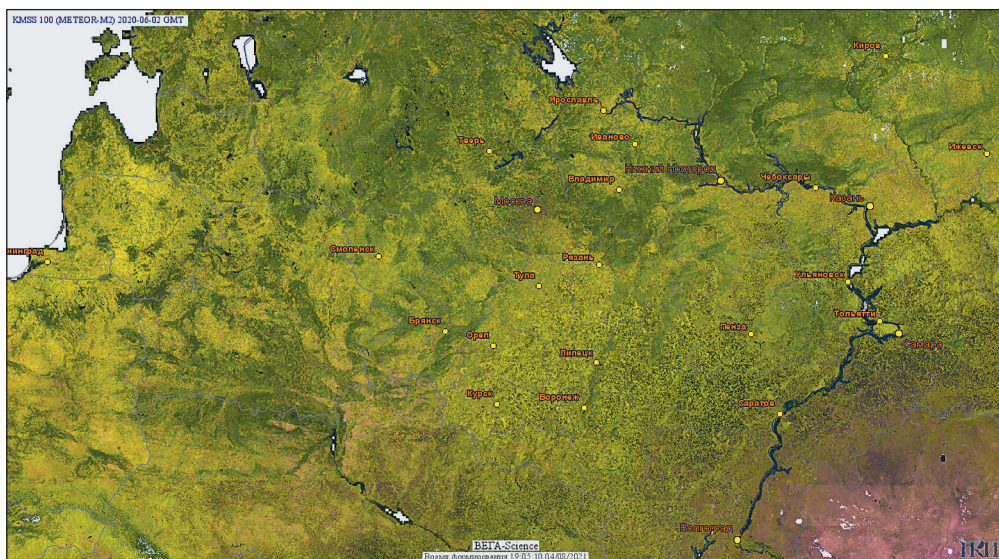
В архивах центра в настоящее время накоплены достаточно длинные ряды данных. Например, архивы данных спутников серии *Landsat* начинаются с марта 1984 г.

Архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» постоянно (ежедневно) пополняются. За последние два года суммарный объем спутниковых данных вырос более чем в два раза и в настоящий момент превышает 5 петабайт³.

³ Актуальная информация о текущем состоянии архивов данных, доступных пользователям ЦКП «ИКИ-Мониторинг», доступна по адресу: <http://ckp.geosmis.ru/>

Список доступных пользователям информационных продуктов существенно расширился как за счет появления возможности создания «виртуальных продуктов» (продуктов, которые формируются в режиме онлайн по запросам пользователей), так и за счет реализации новых методов и процедур формирования информационных продуктов на основе имеющихся в архивах центра спутниковых данных. Например, пользователи получили возможность работы с целой серией продуктов, позволяющих вести мониторинг различных газовых составляющих (см., например, распределение аэрозолей, выброшенных пожарами в Якутии и Иркутской области 2 августа 2021 г., представленное на рисунке).

Также для постоянного мониторинга состояния растительного покрова созданы технологии построения ежедневных безоблачных аппроксимированных композитов на основе спутниковых данных различного пространственного разрешения, в том числе на основе данных российских приборов КМСС, установленных на спутниках серии «Метеор-М».



Пример безоблачного аппроксимированного композита, сформированного на 02.06.2020 по данным приборов КМСС, спутники серии «Метеор-М»

ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕРАКТИВНОГО АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Как уже отмечалось, одной из задач ЦКП «ИКИ-мониторинг» является предоставление специалистам, ведущим анализ спутниковых данных и результатов их обработки, различных веб-интерфейсов, которые позволяют не только получить доступ к необходимым им наборам данных, но и проводить их обработку и анализ, по возможности не используя каких-либо специальных приложений.

Это позволяет пользователям, используя обычные интернет-браузеры и подключение к сети Интернет:

- иметь доступ к сверхбольшим архивам данных;
- проводить их анализ на вычислительных мощностях центра;
- иметь возможность работы с постоянно развивающимся инструментарием анализа данных, который предоставляет центр;

- при необходимости совместно со специалистами центра создавать в интересах конкретного проекта новые инструменты анализа данных.

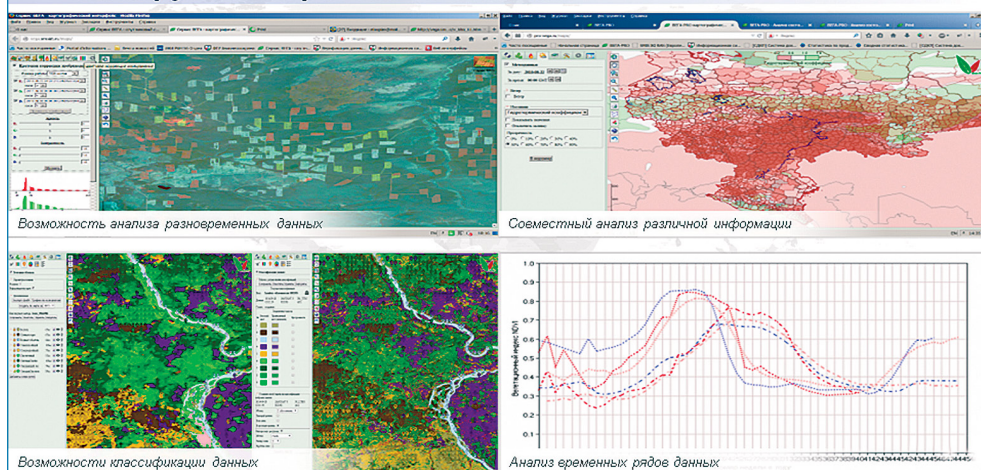
Большинство разработанных на текущий момент инструментов доступно пользователям спутникового сервиса «Bega-Science»⁴, входящего в состав ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Это уникальная научная установка, которая позволяет исследователям работать с распределенными сверхбольшими архивами спутниковых данных в интересах решения совершенно различных задач.

В рамках данной, достаточно ограниченной по объему работы, мы, конечно, не можем рассказать обо всех инструментах анализа данных, которые реализованы в системе. В центре постоянно идет разработка и интеграция в систему «Bega-Science» новых инструментов анализа и обработки данных. Поэтому ниже мы ограничимся лишь кратким описанием основных

⁴ <http://sci-vega.ru>

ПРИМЕРЫ инструментов работы с данными

ИКИ



Примеры web-интерфейсов обработки и анализа данных, предоставляемых ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

групп и типов существующих инструментов. К ним относятся:

1. Инструменты для доступа и выбора данных, которые позволяют пользователю подобрать нужные ему спутниковые данные и/или результаты их обработки.
2. Инструменты анализа различных характеристик данных, позволяющие проводить измерение длин и площадей различных объектов, анализ одномерных и двумерных гистограмм, расчет различных статистических характеристик изображений или произвольно выбранных областей изображений.
3. Инструменты для обработки спутниковых изображений, которые реализуют широкий спектр различных операций по обработке данных, в том числе:
 - цветовая коррекция изображения и синтез различных изображений, включая разновременные операции построения и преобразования палитры;
 - инструменты расчета спектральных индексов и алгебры изображений, позволяющие проводить арифметические, логические операции и различные математические преобразования над данными;
 - инструменты фильтрации и топографической коррекции;
 - различные виды классификации и сегментации изображений;
 - структурный анализ изображений.
4. Инструменты для работы с рядами данных, позволяющие в графическом виде анализировать временные, пространственные и спектральные ряды данных. В том числе они позволяют проводить анализ:
 - временных рядов данных: значений в заданных точках, индексов по объектам (полям), метеопараметров и т.п.;
 - спектральных профилей в выбранных точках или выделенных объектов;
 - метеоданных, включая их вертикальные профили;

- пространственные профили вдоль произвольно заданных маршрутов.
5. Специализированные инструменты для анализа и мониторинга различных объектов. Они формируются для решения задач наблюдения и исследования конкретных объектов, позволяют формировать объекты наблюдений и вести соответствующие базы данных, содержащие их характеристики. В качестве примеров можно привести инструменты:
 - для проведения мониторинга и анализа состояния сельскохозяйственных полей и контроля динамики развития посевов сельхозкультур;
 - выявления лесных вырубок на основе использования временных серий данных, чувствительных к изменениям растительного покрова;
 - выделения пепловых шлейфов и их характеристик;
 - картографирования гарей (площадей, пройденных природными пожарами).
 6. Инструменты моделирования, предназначенные для прогнозирования изменений тех или иных объектов (например, распространения пожаров или пепловых шлейфов от вулканов).
 7. Инструменты, обеспечивающие работу с метеорологической информацией.
 8. Инструмент для подготовки презентационных веб-интерфейсов для иллюстрации различных явлений и процессов.

ПРОГРАММНЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ ДЛЯ ДОСТУПА К РЕСУРСАМ ЦКП «ИКИ-МОНИТОРИНГ»

При создании общей архитектуры построения ЦКП «ИКИ-Мониторинг» особое внимание уделялось поддержке программных интерфейсов (сервисов),

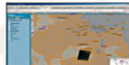
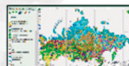
ориентированных на обеспечение работы научных и прикладных информационных систем дистанционного мониторинга. Для решения данной задачи в настоящее время в центре реализованы, в частности, следующие группы сервисов и программных интерфейсов:

- сервисы доступа к метаданным архивов ЦКП «ИКИ-Мониторинг»;
- сервисы получения детальной справочной информации о выбранных пользователем данных;
- сервисы получения изображений, соответствующих выбранным пользователем экземплярам информационных продуктов, и представления их во внешние информационные системы;
- программные интерфейсы, отвечающие за реализацию инструментов анализа и обработки спутниковых данных, которые позволяют использовать имеющийся в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» функционал анализа данных в других информационных системах.

МЕХАНИЗМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЦКП «ИКИ-МОНИТОРИНГ» С РАЗЛИЧНЫМИ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

Доступ информационных систем к возможностям, предоставляемым ЦКП «ИКИ-Мониторинг», реализуется на основе использования сервисов. В качестве таких сервисов могут выступать как описанные выше стандартные программные интерфейсы, так и специализированные сервисы для доступа к различной тематической информации. В качестве последних можно привести реализованные механизмы доступа к информации о природных

Примеры информационных систем дистанционного мониторинга использующие ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

	ОСМ Росрыболовства Система мониторинга водных биологических ресурсов (2000)		IC Sea The See Система дистанционного изучения пограничных морей России (2012)
	ИСДМ-Рослесхоз Дистанционный мониторинг лесных пожаров и их последствий (2005)		IC Bera-Geoglam ИС развития глобальной системы мониторинга сельского хозяйства (2014)
	ИС Bera-Pro Система дистанционного мониторинга сельскохозяйственной и лесной растительности (2011)		ИС Bera-Приморье Система комплексного дистанционного мониторинга лесов Приморья (2015)
	ИС НИЦ «Планета» Росгидромета Система работы с данными дистанционного гидрометеорологического мониторинга (2012)		ИС Bera-Лес Система комплексного дистанционного мониторинга лесов России (2019)
	ИС VoISatView Система мониторинга вулканической активности на Камчатке и Курилах (2012)		ИС ТКД СХМР Система контроля данных сельскохозяйственной микропереписи 2021 года (2020)

Возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг» используются сегодня в нескольких десятках ИС

Примеры информационных систем дистанционного мониторинга, использующие возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг», и годы их ввода в эксплуатацию

пожарах (детектированных очагах горения, площадях, пройденных пожарами, информация о гибели лесов на территориях, пройденных огнем и т.д.) и к информации о состоянии сельскохозяйственных земель и посевов (динамика развития посевов на различных полях, отклонения этой динамики от нормальных, или среднепогодных, графиков развития в конкретном регионе, использование земель и т.д.). В интересах конкретных информационных систем обычно реализуются специальные интерфейсы и инструменты анализа данных, необходимые для решения задач, на которые ориентирована та или иная система.

В системе «Bera-Science» также реализованы схемы онлайн-взаимодействия с различными сторонними информационными системами. Это позволяет использовать информацию, предоставляемую внешними системами, в режиме непосредственного доступа в рамках интерфейсов работы с данными, реализованных в «Bera-Science».

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЦКП «ИКИ-МОНИТОРИНГ»

Ресурсами ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в настоящее время пользуется более 20 различных научных и прикладных информационных систем дистанционного мониторинга (ИСДМ).

В основном такие системы используют различные возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг», связанные с обеспечением распределенной работы с архивами спутниковых данных и результатов их обработки. Системы также используют необходимый им инструментарий обработки и анализа данных, предоставляемый центром.

Большинство ИСДМ, использующих сегодня возможности центра, созданы на основе технологий и программных решений, использовавшихся при создании и развитии ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Это позволяет максимально

полно использовать возможности центра. Во многих случаях в интересах различных ИСДМ осуществляется доработка подсистем центра для обеспечения функциональности, необходимой конкретной информационной системе. Также в интересах конкретных ИСДМ может производиться расширение зоны покрытия, по которой ведутся архивы данных центра, и расширяться состав данных и информационных продуктов, с которыми работает центр. Ниже мы приведем несколько примеров научных и прикладных ИСДМ, которые в настоящее время активно используют возможности центра.

Научные информационные системы дистанционного мониторинга обычно создаются в интересах изучения каких-то конкретных явлений или процессов, а также при разработке новых методов и подходов к проведению их мониторинга в научных или прикладных целях. Такие системы обычно создаются для ведения различных научных проектов. К подобным системам, можно, в частности, отнести следующие:

- **Информационная система See The Sea (STS)**⁵. Создана и развивается ИКИ РАН при поддержке проектов Минобрнауки, РФФИ и РНФ. Система ориентирована на работу с данными спутниковых наблюдений для решения междисциплинарных задач исследования Мирового океана. Особое внимание в системе уделяется возможностям работы с данными спутниковой радиолокации. В настоящий момент центр обеспечивает возможность работы с архивами радиолокационных данных полученных от спутниковых систем *Envisat* и *Sentinel-1*. Также в инте-

ресах STS был реализован функционал, обеспечивающий получение и работу с различными информационными продуктами, используемыми для мониторинга и изучения различных процессов на морской поверхности.

- **Информационная система дистанционного мониторинга активности вулканов Камчатки и Курил» VolSatView**⁶ разработана и развивается совместно Институтом вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения РАН, Вычислительным центром Дальневосточного отделения РАН, Дальневосточным Центром «НИЦ «Планета» и ИКИ РАН при поддержке проектов Минобрнауки, РФФИ и РНФ. Основной задачей системы является обеспечение специалистов-вулканологов оперативными спутниковыми данными и различными информационными продуктами, получаемыми на основе их обработки, для мониторинга и изучения вулканической активности Камчатки и Курил. В интересах системы VolSatView в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» была, в частности, реализована возможность работы с данными японского геостационарного спутника нового поколения *Himawari-8*, который позволяет вести постоянный мониторинг крупномасштабных объектов и процессов с периодичностью наблюдений 10 минут, а для некоторых выбранных территорий и каждые 2 минуты. Также в системе была реализована возможность проведения сравнения спутниковых наблюдений пепловых шлейфов с результатами моделирования их распространения.

⁵ <http://ocean.smlslab.ru/>

⁶ <http://volcanoes.smlslab.ru/>

- **Информационная система «VEGA-GEOGLAM»**⁷ была разработана ИКИ РАН при поддержке проекта Европейской Комиссии SIGMA⁸. Целью системы являлось обеспечение инструментами анализа данных дистанционных наблюдений для разработки методов и подходов глобального мониторинга сельского хозяйства в интересах проекта GEOGLAM⁹. В интересах системы в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» была, в частности, реализована возможность работы с данными по различным полигонам сети JECAM¹⁰ как на территории России, так и в различных регионах мира. Также был создан инструментарий для использования возможностей краудсорсинга для выявления используемых земель.

Возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг» активно используются различными специализированными ИСДМ, ориентированными на мониторинг состояния окружающей среды, состояния лесных и сельскохозяйственных ресурсов, различных антропогенных объектов и транспортной инфраструктуры. Наиболее яркими примерами таких систем, на наш взгляд, являются:

- **Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства «ИСДМ-Рослесхоз».** Система создавалась и развивалась большим консорциумом, в состав которого входили организации и институты Рослесхоза, РАН, Росгидромета, а также организации других ведомств и частные

предприятия. В настоящее время система активно пользуется различными онлайн-сервисами, которые предоставляет ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Заинтересованность «ИСДМ-Рослесхоз» в получении различной информации о состоянии лесного покрова и повреждении его лесными пожарами стала одним из основных стимулов существенного расширения в последние годы состава и качества информационных продуктов и сервисов, представляемых центром в этом направлении.

- **Информационная система «Вега-Pro»**¹¹ была создана ИКИ РАН совместно с ООО «ИКИЗ» при поддержке фонда Сколково. Основной задачей системы является предоставление различных информационных сервисов в области мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов. Возможностями системы сегодня пользуются федеральные и региональные органы власти, сельхозтоваропроизводители, страховые компании и учебные организации, осуществляющие подготовку специалистов в области сельского хозяйства. На базе системы ООО «ИКИЗ» совместно с ИКИ РАН ведет разработку новых подходов и технологий работы со спутниковыми данными в интересах решения различных задач, связанных с ведением и мониторингом сельского хозяйства. Так, в 2020 г. была создана технология дистанционного контроля данных сельскохозяйственной микропереписи, которая проходит в 2021 г.

Таким образом, мы видим, что возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг» достаточно сильно востребованы соз-

⁷ <http://vega.geoglam.ru/>

⁸ https://twitter.com/SIGMA_GEOGLAM

⁹ <http://geoglam.org>

¹⁰ <http://jecam.org/>

¹¹ <http://pro-vega.ru/>

дающимися и развивающимися ИСДМ, а взаимодействие с ними является хорошим стимулом развития центра к созданию и внедрению новых методов, инструментов и технологий работы со спутниковыми данными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успешный опыт развития и эксплуатации ЦКП «ИКИ-Мониторинг» показывает актуальность выбранного нами подхода к обеспечению доступа к сверхбольшим распределенным архивам спутниковых данных, предоставляющего пользователям широкий спектр инструментов для интерактивного анализа и обработки данных. Это подтверждается большим числом действующих информационных

систем, проектов и научных организаций, использующих предоставляемые центром возможности. В перспективе мы планируем продолжить развитие ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в направлении создания специализированной информационной инфраструктуры, позволяющей комплексно решать задачи разработки и поддержки работы новых ИСДМ. Важным направлением развития центра также является создание его узлов в заинтересованных в сотрудничестве организациях, в первую очередь в высших учебных заведениях. Все это, на наш взгляд, позволит активно развивать и использовать в России современную среду для эффективного использования возможностей современных спутниковых систем ДЗЗ для решения различных научных и прикладных задач.



**А вы отправили
обязательный
экземпляр?**

Издательство «Наука» предлагает организациям
и независимым издателям услугу по отправке
Обязательного Электронного Экземпляра
в Российскую государственную библиотеку
и Российскую книжную палату

При размещении научных, научно-популярных книг и журналов в Электронной библиотечной системе
Издательства «Наука» (libnauka.ru) данную услугу мы предоставляем бесплатно

Задать вопрос и узнать о стоимости услуги вы можете по адресу oe@naukaran.com

Реклама

РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (к 60-летию начала разработки метеорологических спутников в СССР)

ВЕДЕШИН Леонид Александрович,

доктор технических наук

Институт космических исследований РАН

ГЕРАСЮТИН Сергей Александрович,

Мемориальный музей космонавтики

DOI: 10.7868/50044394821050054

В 2021 г. исполняется 60 лет с начала разработки в СССР метеорологических спутников. Постановлением Совета Министров СССР их создание было поручено ВНИИЭМ (Всесоюзный научно-исследовательский институт электромеханики, ныне АО «Научно-производственная корпорация “Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы” им. А.Г. Иосифьяна»). Первые прототипы метеоспутников («Омега-1» и «Омега-2») были запущены в 1963 г., затем последовали экспериментальные аппараты в 1966–1967 гг., в дальнейшем была разработана серия оперативных ИСЗ «Метеор», «Метеор-Природа», «Метеор-3», «Ресурс-О1», «Метеор-М», «Электро», «Арктика-М» гидрометеорологического, природно-ресурсного и океанографического обеспечения.

После запуска в СССР первого искусственного спутника Земли метеорологи мира заинтересовались возможностью наблюдать за происходящими процессами в атмосфере Земли с космических высот и получать ежедневную информацию о глобальном изменении погоды и климата на планете.

Начиная с 1949 г. советские метеорологи уже имели представление о верхних слоях атмосферы и космическом пространстве, которую получали с помощью метеорологических (МР-1, М-100, МР-12) и геофизических ракет Р-1В, Р-1Д (1951), Р-2А (1957–1960) и Р-5Б (1962–1963), достигавших высот от 100 до 500 км. На исследовательских ракетах устанавливались контейнеры весом от нескольких сотен килограммов до тонны и более с различной метеорологической и геофизической аппаратурой, а также с животными. На них

Третий советский искусственный спутник Земли на орбите. Рисунок





Академики М.В. Келдыш и С.П. Королёв. 1962 г.

испытывались приборы и системы, которые в дальнейшем стали использоваться на метеорологических спутниках.

Впервые метеорологические измерения в СССР были выполнены на третьем ИСЗ, запущенном 15 мая 1958 г. На его борту была установлена научная аппаратура для исследования верхних слоев атмосферы, которая позволила наряду с определением ее характеристик по торможению спутника и диффузии паров натрия, осуществить непосредственное измерение давления и плотности на различных высотах. Эти результаты были также получены путем запуска искусственной кометы с борта спутника.

Первое упоминание о разработке отечественных метеорологических спутников содержится в письме Главного конструктора ОКБ-1 С.П. Королёва в Правительство СССР от 7 апреля 1960 г. В дополнение к Постановлению ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 10 декабря 1959 г. «О развитии исследований по освоению космического пространства» он представил план работ на 1960–1962 гг. по космическим аппаратам различного назначения, которые не вошли в это Постановление. В письме было предложено следующее: «...создание спутников связи (опытный

упрощенный вариант) для ретрансляции радиопередач на территории СССР, спутников для службы погоды, спутников для исследования Солнца; все эти работы могут быть осуществлены с помощью ракеты-носителя Р-7 с дополнительной ступенью».

Предложения С.П. Королёва о значительном расширении фронта работ по ракетной технике и в смежных областях по освоению космического пространства были одобрены Комиссией Президиума Совета Министров СССР по военно-промышленным вопросам (ВПК). В документе ВПК от 20 июня 1960 г., перечисляющем главные пункты постановления, говорится о поручении председателю Межведомственного научно-технического совета по космическим исследованиям (МНТС-КИ) академику М.В. Келдышу представить в октябре 1960 г. конкретный план по созданию ряда научно-прикладных спутников, включая метеорологические. Вице-президент АН СССР М.В. Келдыш поддержал предложения С.П. Королёва о расширении работ по исследованию и использованию космоса и подключил к этим работам ряд научных организаций АН СССР и Гидрометеорологической службы СССР: Институт физики атмосферы, Геофизический институт, Институт прикладной математики, Физический институт им. П.Н. Лебедева, Центральную аэрологическую обсерваторию, Главную геофизическую обсерваторию им. А.И. Войкова, Центральный институт прогнозов (Гидрометцентр СССР) и др.

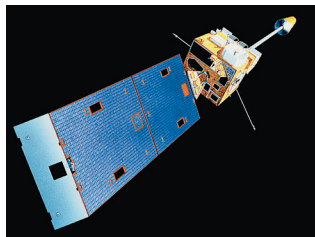
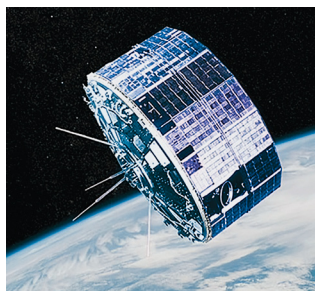
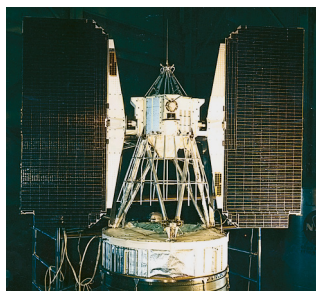
В соответствии с поручением ВПК разработка эскизного проекта ИСЗ осуществлялась на конкурсной основе в ОКБ-586 и ВНИИЭМ. Окончательное решение было принято МНТС-КИ под председательством академика М.В. Келдыша в пользу проекта ВНИИЭМ, получившего название «Метеор».



Старт с космодрома Мыс Канаверал ракеты-носителя «Тор-Эйбл» с метеоспутником «Тирос-1» 1 апреля 1960 г. Справа – проверка систем «Тирос-1» перед запуском. Фото NASA

1 апреля 1960 г. с космодрома Мыс Канаверал с помощью ракеты-носителя «Тор-Эйбл» был запущен на орбиту высотой 750 км первый в мире метеоспутник «Тирос-1» (TIROS-1, Television InfraRed Observation Satellite – спутник для телевизионного и инфракрасного обзора Земли) массой 122,5 кг. На спутнике были установлены две малогабаритные телевизионные камеры и сканирующий инфракрасный радиометр для получения изображения облачного покрова Земли путем регистрации излучения в ИК-области спектра и датчик излучений, регистрирующий радиационные потоки на Землю и от Земли. «Тирос-1» успешно работал до 15 июня 1960 г., передал изображения земной поверхности и облачного покрова из космоса. Эксперимент доказал пригодность спутников для наблюдения за погодой. В феврале 1966 г. на базе американских метеоспутников «Тирос» (запущено 10 ИСЗ в 1960–1965 гг.) была развернута глобальная спутниковая система, она оказалась чрезвычайно

успешной: были сделаны первые точные прогнозы погоды. С 1962 г. началась непрерывная съемка Земли, фотографии использовались метеорологами для прогноза погоды на планете. Успех программы с применением многих типов приборов и орбитальных конфигураций привел к разработке спутников метеорологического наблюдения с более совершенным комплексом приборов для изучения окружающей среды. В дальнейшем NASA и NOAA (Национальное управление океанических и атмосферных исследований – федеральное ведомство в структуре Министерства торговли США) стали использоваться американские метеоспутники следующих поколений серий: Nimbus (7 КА; 1964–1978), ATS (4 КА; 1966–1968), ESSA (9 КА; 1966–1969), NOAA (19 КА; 1970–2009), «Тирос-N» (8 КА; 1978–1985), GOES (17 КА; 1975–2018). В настоящее время метеорологические спутники запускают Индия, Китай, Япония и Европейское космическое агентство.



Некоторые американские метеоспутники: Nimbus-1 (1964), ATS-1 (1966), ESSA-1-9 (1966–1969), GOES-1 (1975), NOAA-1 (1970), GOES-8-12 (2001–2013). Фото NASA/NOAA

Советское правительство, понимая важность этих работ для развития Гидрометеорологической службы СССР и обороны страны, выпустило Постановление Совета Министров СССР от 30 октября 1961 г. № 984–425. Согласно этому документу, М.К. Янгелю – главному конструктору ОКБ-586 (КБ «Южное» в Днепропетровске, Украина) была поручена разработка космического аппарата и создание на его базе отечественной метеорологической системы со сроками исполнения в 1962–1963 гг. Заказчиком метеорологических спутников было назначено Главное управление гидрометеорологической службы СССР (ныне Росгидромет), которое в те годы возглавлял крупный ученый в области метеорологии и геофизики академик АН СССР Е.К. Фёдоров (1910–1981).



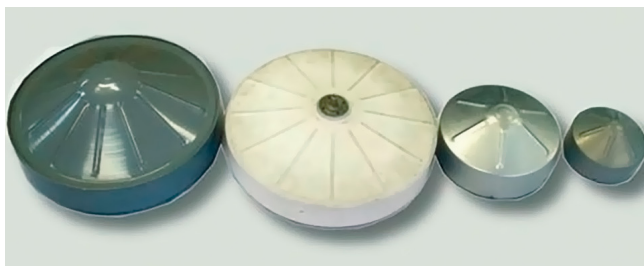
Организатор и первый директор ВНИИЭМ профессор А.Г. Иосифьян

В послевоенные годы ВНИИЭМ стал головным институтом по созданию бортового электрооборудования для баллистических ракет, разрабатываемых С.П. Королёвым и М.К. Янгелем. У его руководителя профессора Андроника Гевондовича Иосифьяна (1905–1993) сложились хорошие отношения с обоими главными конструкторами, что во многом способствовало вхождению ВНИИЭМ в круг создателей спутников. В начале 1960-х годов на встрече в Москве М.К. Янгель и А.Г. Иосифьян договорились о разработке специальной космической электротехнической лаборатории для проведения исследований и испытаний в реальных условиях длительного космического полета некоторых видов электротехнической аппаратуры и материалов, в том числе проверку различных режимов ориентации

метеорологического спутника на Землю и на Солнце.

По техническому заданию и выполняемому в ОКБ-586 проекту метеорологического аппарата в его состав входила исследовательская аппаратура: телевизионная, инфракрасная и актинометрическая системы. Служебный комплекс состоял из следующих систем: электроснабжения на базе ориентируемой солнечной батареи, гравитационной ориентации и стабилизации с газореактивной системой для первоначальной ориентации спутника на Землю, телеметрической и командно-программной. Масса космического аппарата (до 500 кг) на стадии эскизного проекта соответствовала проектным энергетическим возможностям ракет-носителей легкого класса: «Космос» (65С1), созданной в ОКБ-586 на базе баллистической ракеты Р-12, с 1967 г. – «Космос-2» (11К63).

По предложению главного конструктора ВНИИЭМ А.Г. Иосифьяна одной из главных задач космической электротехнической лаборатории, которая получила название «Омега», было испытание электро-механической системы ориентации с использованием электродвигателей-маховиков. В то же время в ОКБ-586 рассматривался другой проект такой системы, связанный с использованием на спутнике для первоначальной ориентации газореактивной системы в качестве силы, способной создавать управляющие моменты относительно центра массы. Это предложение не было принято, так как требовало



Двигатели-маховики для систем ориентации космических аппаратов, созданные в ВНИИЭМ

больших запасов газа при длительной работе на орбите за счет снижения веса научной аппаратуры.

Еще в 1960 г. во ВНИИЭМ и ОКБ-586 были начаты конструкторские разработки метеоспутника. Пользуясь большим авторитетом у руководства страны, М.К. Янгель добился разрешения на запуск двух спутников «Омега». Спут-



Главный конструктор ракетно-космической техники, дважды Герой Социалистического Труда, академик М.К. Янгель

ники были включены в программу второй очереди пусков этой ракеты, утвержденную в июле 1962 г. Однако в силу необходимости использования всех имеющихся мощностей ОКБ-586 и завода для разработки нового поколения ракет стратегического назначения, М.К. Янгель предложил передать разработку метеорологического спутника во ВНИИЭМ. ВПК поддержала это предложение, сохранив за ОКБ-586 головную роль по указанным системам. В резуль-

тате РН «Космос» отдана для дальнейшей доработки в ОКБ-10 (Красноярск), а разработка КА – во ВНИИЭМ.

Во ВНИИЭМ для проведения этих работ был сформирован небольшой коллектив, в который вошли специалисты по динамике полета И.Е. Сахаров, кон-



Ракета-носитель «Космос» (65С1) на полигоне Капустин Яр (Архангельская обл.). С ее помощью были запущены в 1963 г. первые экспериментальные метеоспутники «Омега»

структоры А.И. Мельников и А.В. Чуев, ведущий электромеханик Н.Я. Альпер. Создали специальный сектор, который возглавил молодой инженер Ю.В. Трифонов, который в дальнейшем стал главным конструктором по разработке спутников серии «Метеор-Природа». В мае 1962 г. из ОКБ-586 во ВНИИЭМ была передана проектная документация и направлена бригада специалистов для оказания помощи в дальнейшей разработке спутника.

В течение 1962 г. во ВНИИЭМ в проект были внесены существенные изменения: гравитационная система ориентации и стабилизации была заменена на активную систему электродвигателей маховиков, разработана система ориентации солнечных батарей, внесены изменения в конструкцию КА «Омега». Для разгрузки маховиков была разработана гравитационная система ориентации, которая брала на себя создание управляющего воз-

действия при торможении маховика. Заводу № 586 было поручено изготовление и поставка корпусных узлов КА, гравитационная система ориентации, антенно-фидерных устройств и ряда других. С реализации этой программы началось долгосрочное сотрудничество ОКБ-586 и ВНИИЭМ по созданию спутников серии «Метеор».

В короткие сроки два спутника «Омега» были изготовлены и отправлены на полигон Капустин Яр: на стартовой позиции первая ступень ракеты располагалась в пусковой шахте, а вторая со спутником над ней. Первый спутник «Омега» («Космос-14») массой 300 кг был запущен 13 апреля 1963 г. с помощью РН «Космос» (65С1) на орбиту высотой 265×512 км, второй («Космос-23») – 14 декабря 1963 г. В результате запусков на орбите работали первые в мире электротехнические лаборатории, предназначенные для оперативного наблюдения за распределением облачного покрова и теплового излучения Земли с целью оперативного получения метеорологических данных для прогнозов погоды. Впервые в практике на спутниках серии «Омега» были исследованы принципы построения трехосной системы ориентации и стабилизации ИСЗ с помощью трех электродвигателей маховиков. Система была разработана талантливым конструктором ВНИИЭМ А.И. Мельниковым. Она позволяла осуществлять как начальное успокоение ИСЗ, так и поддержание остаточного момента на минимальном уровне в процессе ориентированного полета. Сброс кинетического момента при использовании этой системы достигался за счет взаимодействия токов в обмотках электромагнитов с магнитным полем Земли.

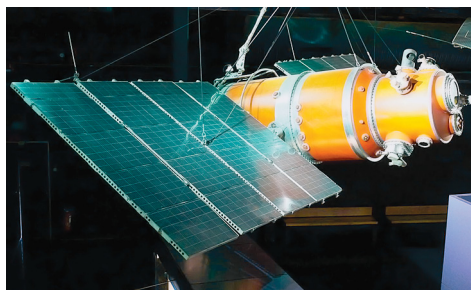
Теоретические основы системы ориентации спутников с использованием маховиков были изложены в работах К.Э. Циолковского еще в начале XX в.

Эта идея впервые в мире была реализована на ИСЗ «Космос-14» и «Космос-23». На ИСЗ «Космос-14» прошли испытания телевизионной аппаратуры – удалось зарегистрировать изменения в «тепловом излучении» Земли. Трехосная система позволяла ориентировать спутник на Землю и на Солнце с использованием датчиков. В полете был исследован режим «закрутки» спутника вместе с раскрытыми солнечными батареями вокруг оси, ориентированной на Солнце с помощью электродвигателей-маховиков. Этот режим впоследствии использовался на орбитальных станциях «Салют» и «Мир». Связь со спутниками велась с помощью радиопередатчика «Маяк», работающего на частоте 20 МГц. ИСЗ «Космос-23» был дополнительно снабжен первым отечественным сканирующим инфракрасным радиометром, предназначенным для получения в ночное время снимков земной поверхности, закрытой облаками. Получены важные результаты по оценке интегрального действия возмущающих сил в околоземном космическом пространстве. Результаты этих исследований дали возможность оценить отдельные составляющие сопротивления окружающей среды при движении спутника.

До середины 1966 г. сборка и испытания космических аппаратов производились во ВНИИЭМ, в ОКБ-586 и на заводе № 586 – в рамках подготовки к серийному производству космических аппаратов по документации ВНИИЭМ. В результате этого сотрудничества было изготовлено и запущено 25 спутников «Метеор» в интересах Росгидромета и Минобороны. В связи с увеличением массы КА до 4.7 т было принято решение в дальнейшем для запуска ИСЗ «Метеор» вместо ракеты-носителя «Космос-2» использовать «Восток-2М» (8А92М). Первые пять запусков спутников «Метеор» были выполнены с кос-



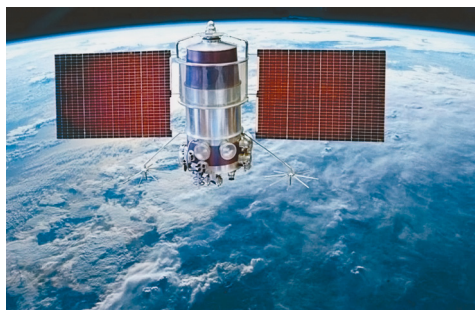
Экспериментальные спутники «Омега»: «Космос-14» и «Космос-23»



Технологические метеоспутники серии «Космос»

модрома Байконур, последующие, начиная с № 6 – с космодрома Плесецк, сначала ракетами-носителями «Восток-2», а затем «Циклон-3» (11К68).

«Космос-44» стал третьим спутником метеорологического назначения и первым, который запущен 28 августа 1964 г. с космодрома Байконур с помощью РН «Восток-2М». Это был технологический спутник, на котором отрабатывались методы проведения метеорологических исследований. Спутник массой 4500 кг имел форму цилиндра длиной 3 м и диаметром 1 м с двумя солнечными панелями. Управляемая антенна работала на частоте 90 МГц. Испытания проводились с помощью грубых телевизионных и инфракрасных камер по исследованию облачности,



Первые эксплуатационные
метеорологические спутники СССР
«Метеор-1». Рисунок

актинометрические приборы измеряли излучение, идущее от планеты. Вслед за ним в 1965–1966 гг. были запущены аналогичные ИСЗ «Космос-58, -100 и -118» для испытания систем и отработки технологии метеонаблюдений.

25 июня 1966 г. на орбиту был выведен первый экспериментальный метеорологический спутник «Космос-122» массой 4730 кг. 28 февраля и 27 апреля 1967 г. произошел запуск сразу двух спутников «Космос-144» и «Космос-156», по конструкции аналогичных предыдущим. На спутнике «Космос-122» испытывался комплекс приборов для метеонаблюдений: телевизионных, актинометрических, инфракрасных, в сочетании со служебными системами, обеспечивающими многомесечное функционирование спутника на орбите. «Космос-144» и «Космос-156» образовали вместе с наземными пунктами первую экспериментальную метеорологическую систему «Метеор», которая в дальнейшем восполнялась ИСЗ «Космос-184» и «Космос-206» (1967–1968). Система состояла из двух ИСЗ, находящихся на приполярной круговой орбите высотой около 630 км и наклоном 81.2° и наземного комплекса, позволявшего в течение суток дважды собирать информацию с 70–80% поверхности Земли для исполь-

зования ее в оперативной службе прогнозов погоды. Спутники эксплуатировались в течение четырех-пяти месяцев.

26 марта 1969 г. с космодрома Плесецк запущен ИСЗ «Метеор-1-1» – первый эксплуатационный метеорологический спутник СССР. Основные характеристики КА: масса – 1280 кг, параметры начальной круговой орбиты – высота 650 км, наклонение $81.2\text{--}98^\circ$, срок активного существования – 6–12 месяцев. Две солнечных батареи автоматически ориентировались на Солнце, КА использовали градиент силы тяжести и трех координатную систему стабилизации для ориентации на Землю. В 1969–1977 гг. было запущено 27 КА серии «Метеор-1» в интересах Росгидромета и Министерства обороны.

Спутники серии «Метеор-1» предназначались для оперативного получения глобальных и локальных изображений облачности, поверхности Земли, ледового и снежного покровов в видимом, инфракрасном и микроволновом диапазонах; радиолокационных изображений земной поверхности, а также определения температуры морской поверхности и радиационной температуры подстилающей поверхности; измерения распределения озона в атмосфере и его общего содержания; передачи информации о гелиогеофизической обстановке в околоземном космосе и спектральной плотности энергетических яркостей уходящего излучения для определения вертикального профиля температуры и влажности в атмосфере, а также для оценки составляющих радиационного баланса системы Земля – атмосфера. На борту спутников серии «Метеор» размещалась аппаратура, созданная в ЦКБ «Геофизика» (ныне ОАО «НПП Геофизика – космос»):

– телевизионная система видикон МР-600, состоящая из двух камер, позволяла осуществлять съемку освещенной части поверхности Земли в ви-

димом диапазоне (0.5–0.7 мкм) и полосе обзора 1000 км с разрешением 1.25×1.25 км, она применялась для составления схем облачного покрова Земли;

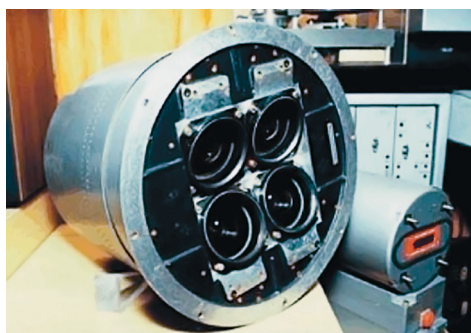
- сканирующий ИК-радиометр «Ласточка» (спектральный диапазон соответствовал окну прозрачности атмосферы: 8–12 мкм), используемый для наблюдения за облачным покровом на ночной стороне Земли полосой обзора 1100 км и разрешением 15×15 км, а также для определения температуры поверхности планеты или верхней границы облаков;

- комплект актинометрических приборов, датчики осуществляли из интенсивности излучения Земли;

- два широкоугольных датчика осуществляли измерение интенсивности излучения всей видимой части Земли и атмосферы полосой обзора 2500 км и разрешением 50×50 км;

- два узкоугольных прибора сканировали земную поверхность в направлении перпендикулярном вектору движения спутника в трех спектральных диапазонах: 0.3–3 мкм (отраженная солнечная радиация); 3–30 мкм (тепловое излучение Земли и атмосферы), данные двух этих диапазонов позволяли рассчитывать величину поглощенной части излучения Солнца, используемых в долгосрочных прогнозах; 8–12 мкм (определялась высота верхней границы облаков, что важно для авиации).

В 1969 г. Постановлением Правительства СССР экспериментальная система «Метеор» была принята в эксплуатацию, как Государственная метеорологическая космическая система. В 1971 г. ВНИИЭМ организовал сборку и испытания ИСЗ «Метеор» в своем филиале в г. Истре, (Московская обл., в настоящее время НИИЭМ), который под руководством доктора технических наук В.И. Ададько полностью



Блок из четырех передающих телекамер ИСЗ «Метеор»

освоил производство КА серии «Метеор». Гарантированный срок службы удалось увеличить в два раза – до двух лет, за счет модернизации системы энергоснабжения.

В 1975–1982 гг. на базе спутника «Метеор» был разработан оперативный метеорологический и геогеофизический метеоспутник второго поколения «Метеор-2» массой 1950 кг, в том числе масса научной аппаратуры 650 кг, соответствующей уровню зарубежной космической техники того периода. Информационная аппаратура КА и наземные комплексы создавались в те годы во ВНИИ телевидения, ВНИИ «Альтаир» и ЦКБ «Геофизика». После того, как в 1975–1978 гг. успешно прошли летно-конструкторские испытания КА «Метеор-2», отработанная в Москве конструкторская документация КА «Метеор-2» была внедрена в производство филиала ВНИИЭМ в Истре.

В 1975–1993 гг. был запущен 21 спутник этой серии с помощью РН «Зенит-2» (8А92М). В 1982 г. метеорологическая система «Метеор-2» была принята в эксплуатацию, а ВНИИЭМ был определен головной организацией по созданию космических аппаратов и метеорологической системы «Метеор-2». Аппаратура спутников работала в видимом (0.5–0.7 мкм) и инфракрасном (8–12 и 11.10–18.70 мкм) диапа-

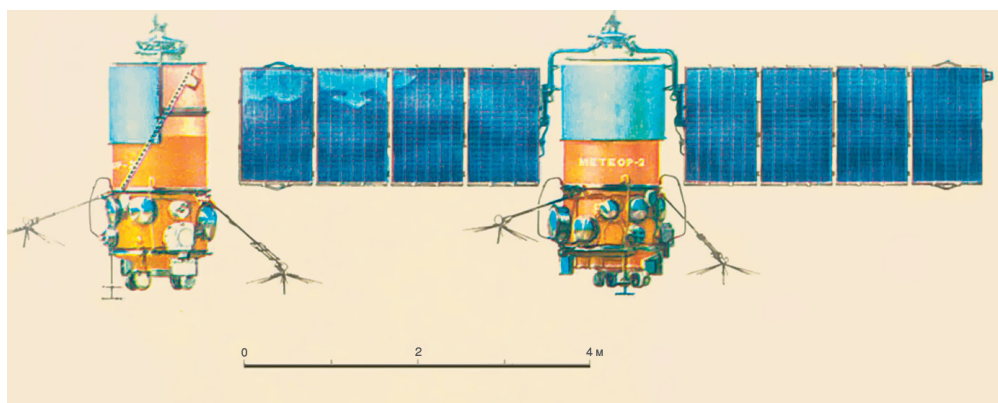


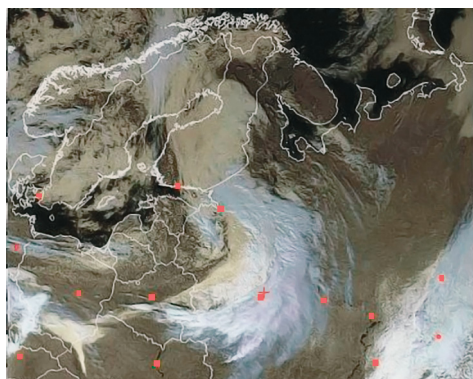
Схема ИСЗ «Метеор» и «Метеор-2». Журнал «Техника-молодежи», 1979, № 9, с. 23

зонах спектра. Телевизионная аппаратура была предназначена для получения изображения облачности, ледяных и снежных полей, а также других видов подстилающей поверхности пространственным разрешением до 30–50 м. За один виток спутники «Метеор-2» получали ТВ-снимки и ИК-информацию с территории около 8% земного шара, данные о радиационных потоках – с 20%. Система из двух спутников, находящихся на круговых околополярных орбитах высотой 625–630 км, плоскости которых пересекаются под углом

около 95°, получали в течение суток информацию с половины Земли, каждый район планеты наблюдался с интервалом в 6 часов.

На оперативных спутниках «Метеор-2» устанавливалась телевизионная система двух видов: сканирующий телефотометр для автоматической передачи изображения облачности того района, над которым он пролетал и где была установлена наземная аппаратура приема (режим непосредственной передачи изображений) и сканирующая телевизионная аппаратура, предназначенная для получения глобальных изображений – то есть всей дневной стороны Земли (режим запоминания информации, аппаратура дает возможность различать облачность на фоне подстилающей поверхности при условии достаточной освещенности в районе съемки при высоте Солнца над горизонтом более 5°). Инфракрасная аппаратура использовалась для обнаружения и прослеживания облачности на теневой стороне Земли, с ее помощью осуществлялся глобальный съем информации, как на теневой, так и на освещенной части каждого рабочего витка. Яркость (тон) изображения какого-либо объекта на инфракрасном снимке определяется главным

Один из снимков облачности над Европой, полученный с ИСЗ «Метеор». Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»



образом температурой излучающей поверхности. Облака с более низкой температурой, чем подстилающая поверхность, представляются на инфракрасных снимках яркими зонами на фоне серой или темной подстилающей поверхности. Сканирующий восьмиканальный ИК-радиометр предназначался для получения глобальных данных температурного зондирования атмосферы.

В последующие годы на базе спутников «Метеор» во ВНИИЭМ под руководством доктора технических наук Ю.В. Трифонова продолжались конструкторские работы по модернизации и созданию нового КА «Метеор-Природа» для изучения природных ресурсов Земли (ИПРЗ). После замены информационного комплекса начались летные испытания экспериментальных спутников серии «Метеор-Природа». 9 июля 1974 г. с космодрома Плесецк запущен первый аппарат этой серии, с 1977 г. они стали запускаться с Байконура. Спутники оснащались служебной и информационной многозональной сканирующей аппаратурой МСУ-М и МСУ-С, разработанной доктором технических наук А.С. Селивановым в НПО научно-приборостроения. До 1983 г. запущено 7 КА «Метеор-Природа» (последний прекратил работу в 2012 г.), они стали выводиться на солнечно-синхронную орбиту, поэтому впервые появилась возможность получать информацию по одним и тем же районам земной поверхности в одинаковых условиях освещенности. В зависимости от научной программы, на аппаратах устанавливалась следующая аппаратура:

- бортовой информационный комплекс БИК-Э в составе сканирующей четырехканальной аппаратуры телевизионного типа малого разрешения (МСУ-М) и двухканальной среднего разрешения (МСУ-С);

- цифровая сканирующая система «Фрагмент» (ИКИ АН СССР, разработа-



«Метеор-Природа» для изучения природных ресурсов Земли на околоземной орбите.

Рисунок

на доктором технических наук Г.А. Аванесовым) в составе 8-канального оптического сканера и цифрового радиопередающего устройства;

- трехканальный микроволновой радиометр (СВЧ аппаратура);

- сканирующий ИК-радиометр «Ласточка»;

- радио- и тепло-локационная поляризационная аппаратура;

- сканирующий инфракрасный поляриметр;

- четырехканальный спектрометр;

- сканирующий ИК-радиометр наклонного зондирования;

- спектрометр-интерферометр.

Спутники серии «Метеор-Природа» применялись для проведения гидрометеорологических наблюдений, сбора информации, необходимой для ИПРЗ и нужд оперативной службы погоды. Оборудование предназначалось для получения: многозональных снимков облачности и подстилающей поверхности над ограниченными районами; данных о пространственном распределении зон осадков и их интенсивности, об интегральной водности облаков, положении границ ледяного покрова; об общем влагосодержании атмосферы; о температуре подстилающей поверхности; о радиации и ее поляризационных компонентах с целью



Спутник исследования природных ресурсов Земли и оперативного экологического мониторинга «Ресурс-01»

определения фазового состава облаков; о тепловом излучении верхней атмосферы. Прием многозональной информации с аппаратуры, работающей в режиме непосредственной передачи, производился на трех пунктах приема информации. «Метеор-Природа» № 3–1, запущенный 18 июня 1980 г. – эксплуатировался 8 лет, а «Метеор-Природа» № 2–4, запущенный 10 июля 1981 г. по международной программе «Болгария-1300» – 3 года.

Опираясь на собственный опыт и мировые тенденции развития технических средств наблюдения Земли из космоса, под руководством главного конструктора ВНИИЭМ была создана универсальная спутниковая платформа СП-I, параметры которой удовлетворяли требованиям многоцелевых приборов ИПРЗ второго поколения. Создание СП-1 позволило на ее базе разрабатывать спутники, различные по назначению.

В современной космической технике принято структурное деление аппарата на спутниковую платформу и бортовой информационный комплекс, состав и характеристики которого определяют его целевое назначение. В состав платформ входят несущие конструкции, объединяющие всю аппаратуру в единое устройство, и бортовые служебные системы, обеспечивающие функционирование КА в целом и его информационного комплекса.

Сохранилась преемственность технических решений в СССР и США: спутники ИПРЗ первого поколения «Метеор-Природа» и Landsat (1972–1978) были созданы на основе использования систем и конструкции метеоспутников «Метеор» и Nimbus (1964–1978) с возможностью замены системы информационных приборов для дистанционного зондирования Земли и метеорологии.

На базе спутниковой платформы СП-I были созданы космические системы различного назначения, в том числе спутники для ИПРЗ и оперативного экологического мониторинга «Ресурс-01» (1980–2000), экспериментальный космический комплекс «Астрофизика» («Космос-1066») для обнаружения и точного определения координат наземных ядерных взрывов (это второй спутник СССР с электрическим двигателем для орбитальных маневров; 1978–1979), «Интеркосмос-22» («Интеркосмос-Болгария-1300-1») для геофизических исследований ионосферы, магнитосферы Земли и околоземного космоса (1981–1983) и др. В 1971 г. была разработана система ионно-плазменных электрореактивных двигателей. Это «Зефир», созданный под руководством профессора А.Г. Иосифьяна во ВНИИЭМ и «Эол-1» – создан группой сотрудников Института атомной энергии под руководством А.И. Морозова и изготовленный калининградским

ОКБ «Факел». Их испытания прошли на ИСЗ «Метеор-10», впоследствии они стали использоваться в качестве исполнительных органов при коррекции орбиты.

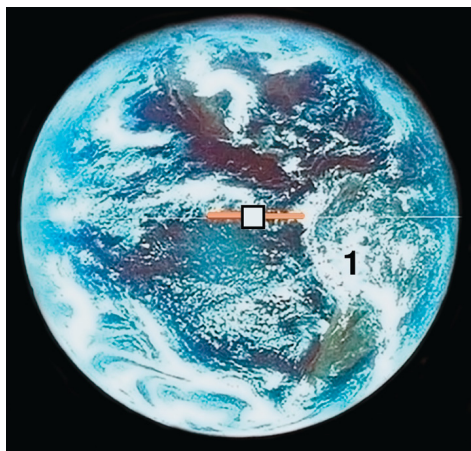
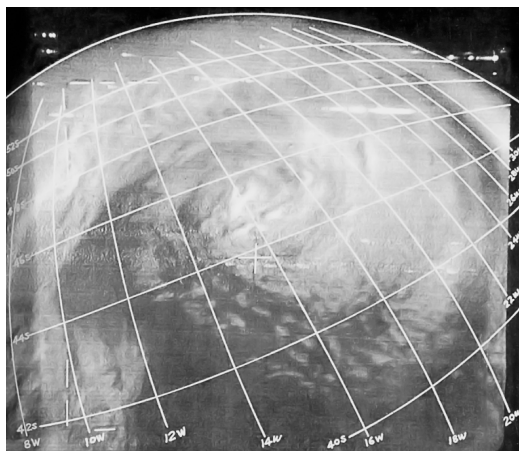
Во второй половине 1980-х годов была создана спутниковая платформа второго поколения СП-II («Ресурс-УКП»), а уже на ее базе – метеорологический и геогелиофизический космический аппарат «Метеор-3». Его характеристики: длина 6.5 м, диаметр 2.4 м, размах солнечных батарей 12.7 м, масса 2150–2250 кг, в том числе масса научной аппаратуры 500–700 кг. В 1985–1994 гг. запущено 7 КА с космодрома Плесецк с помощью РН «Циклон-3» (11К68) на приполярные круговые орбиты высотой 1200 км. Они предназначались для оперативного получения, передачи, обработки и распространения потребителям в любое время суток гидрометеорологической информации, а также данных о радиационной обстановке в околоземном космосе, состоянии магнитосферы и озонового слоя Земли. Аппарат получал глобальные и локальные телевизионные изображения облачности, поверхности Земли, ледового и снежного покровов шириной полосы обзора 3100 км с разрешающей



Запуск ИСЗ «Метеор-3» ракетой-носителем «Циклон-3» с космодрома Плесецк

способностью 0.8×1.5 км (точность привязки полученных изображений была 15 км), а также данные для определения температуры верхней границы облаков. Установленные на его унифицированной платформе приборы измеряли спектральную яркость Земли и атмосферы в видимом, инфракрасном, ультрафиолетовом и высокочастотном диапазонах спектра, определяли высотные профили температуры

Изображения облачности, полученные американскими метеоспутниками: «Тирос-1» в 1960 г. и геостационарным ATS-3 в 1970 г.





Американские геостационарные метеоспутники SMS-1 (1974) и GOES-17 (2018). Рисунки NASA/NOAA

и влажности в нижней атмосфере, общее содержание озона и его вертикальное распределение, а также состояние радиационной обстановки вдоль траектории полета.

В последующие годы во ВНИИЭМ создан многоцелевой «Метеор-3М» массой 2476 кг (запущен 10 декабря 2001 г.), наряду с метеорологическими наблюдениями на него устанавливались иностранные приборы по программе «Интеркосмос». На ИСЗ «Метеор-3/ТОМС» в 1991 г. была установлена аппаратура США для исследования озонового слоя Земли, в 2001 г. на «Метеор-3М/SAGE» – для изучения физики атмосферы. Прием научной информации с этих спутников осуществлялся наземными пунктами в Уоллопсе (США) и в Обнинске.

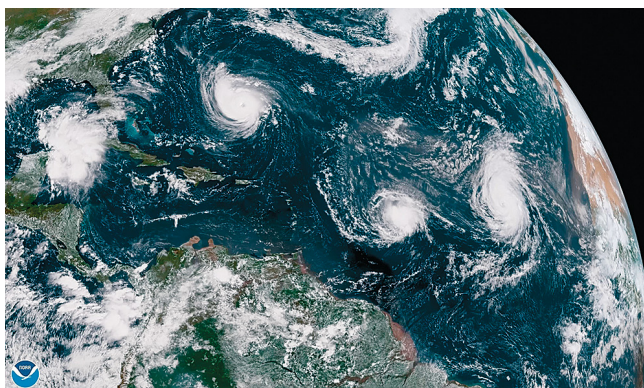
После успешной демонстрации возможностей первыми метеорологическими спутниками «Тирос» стало ясно, что наилучшие результаты могут быть достигнуты только при использовании глобальной спутниковой метеорологической сети на геостационарной орбите. Первый в мире стационарный спутник ATS-1 (США) был запущен 7 декабря 1966 г. Одной из задач этого технологического КА – получение изображения Западного полушария каждые 20 мин с помощью камеры с вращательным сканированием. Спутники

ATS предоставили ученым, занимающимся исследованием атмосферы, качественно новую возможность постоянного наблюдения почти одной трети земной поверхности. Успешное осуществление экспериментальной программы атмосферных наблюдений с геостационарной орбиты позволило NASA перейти к разработке эксплуатационного спутника, специально предназначенного для этой цели.

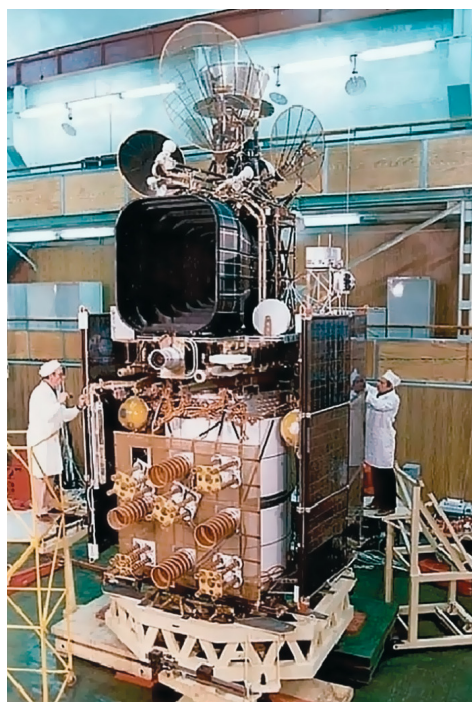
Прототип серии спутников SMS/GOES (Synchronous Meteorological Satellite/Geostationary Operational Environmental Satellite – синхронный метеорологический спутник/геостационарный эксплуатационный метеорологический спутник) имел индекс SMS-1 и был создан фирмой «Аэронутроник Форд» под руководством NASA. Первый оперативный геостационарный SMS-1 успешно запущен в мае 1974 г. Расположенный над экватором на 45° з.д., спутник обеспечивал постоянный обзор в видимом и инфракрасном диапазонах Западного полушария с помощью телескопа с апертурой 40.6 см. Созданный фирмой «Хьюз эйркрафт» этот радиометр с вращательным сканированием позволял производить постоянные наблюдения облачного покрова, определять температуру и высоту облаков, скорость ветра.

16 октября 1975 г. с космодрома Канаверал с помощью РН «Дельта-2» (2914) был запущен геостационарный метеоспутник GOES-1 (Geostationary Operational Environmental Satellite – геостационарный эксплуатационный спутник наблюдения за окружающей средой). Эта серия спутников, находящихся в ведении американской информационной службы по космическим данным об окружающей среде (NESDIS), обеспечивала прогноз погоды, они также отслеживали движение штормов. Спутники и наземная инфраструктура системы предоставляют таким потребителям, как национальная служба погоды (NWS), непрерывный поток данных об окружающей среде. В 1977–1978 гг. запущено еще два экспериментальных КА GOES, в 1980–2018 гг. – 15 КА GOES четырех поколений.

31 октября 1994 г. с космодрома Байконур с помощью РН «Протон-К» стартовал первый в нашей стране геостационарный гидрометеорологический КА «Электро» размерами $6.35 \times 2.1 \times 4.1$ м, размахом панелей солнечных батарей 14.7 м и массой 2850 кг (масса научной аппаратуры 700 кг). Спутник вошел в состав всемирной сети метеорологического наблюдения под индексом GOMS-1 (Geostationary Operational Meteorological Satellite – геостационарный оперативный метеорологический спутник). Он был выведен в точку стояния $76^\circ 50'$ в.д. и работал 4 года. Каждые полчаса он передавал многоспектральные изображения диска Земли с высоким пространственным разрешением и измерительной точностью для обеспечения метеорологов многими видами информации, в том числе выполнял гелиогеофизические



Четыре мощных урагана 2–4-й категорий Флоренс, Исаак, Хелен и Оливия идут один за другим через Атлантический океан к Восточному побережью США и Карибскому региону. Метеорологический спутник GOES-16 сделал снимки группы штормов 11 сентября 2018 г. Фото NASA/NOAA



Российский геостационарный гидрометеорологический КА «Электро-1» (ГОМС-1) во время интеграции систем на космодроме Байконур. Фото Роскосмос

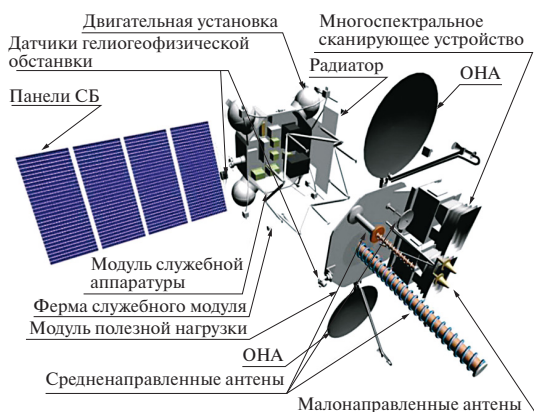


Схема устройства геостационарного гидрометеорологического КА «Электро-Л» (ГОМС-2).

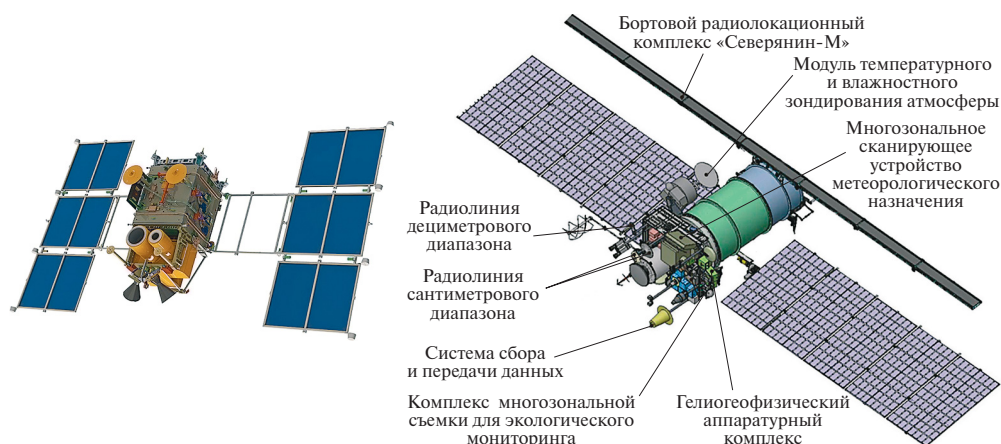
Справа – первый снимок Земли, полученный 21 января 2016 г. КА «Электро-Л» № 2.

Рисунок и фото Роскосмос, Росгидромет

измерениями. «Электро» входил в состав гидрометеорологической системы «Планета-С» и предназначался для оперативного получения изображения облачности и подстилающей поверхности в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра в радиусе 60° от своей точки стояния. «Электро» проводил непрерывные наблюдения за динамикой атмосферных процессов, получал изображения снежных и ледяных полей, данные о температуре и влажности воздуха, а также температуре морской поверхности и облаков.

В 2011, 2015 и 2019 гг. были запущены три модифицированных спутника «Электро-Л» длиной 5.5 м, шириной 2.5 м, массой 1766 кг (масса научной аппаратуры 550 кг) для развертывания штатной группировки в составе трех КА в орбитальных позициях 14° з.д., 76° и 165° в.д. Спутники входят в состав всемирной сети метеорологического наблюдения под индексом GOMS-2. КА используют новую унифицированную спутниковую платформу «Навигатор», разрабатываемую с 2005 г. Аппараты были созданы в НПО им. С.А. Лавочкина по заданию госкорпорации «Роскосмос» и Росгидромета,

они предназначены для мониторинга климата Земли и его глобальных изменений, контроля чрезвычайных ситуаций и экологии окружающей среды. «Электро-Л» обеспечивают оперативной информацией с целью анализа и прогнозирования погоды, изучения состояния акваторий морей и океанов, мониторинга условий для полетов авиации, а также изучения состояния ионосферы и магнитного поля Земли. Кроме того, аппараты ведут мониторинг климата и глобальных изменений, используются для контроля чрезвычайных ситуаций и проводят экологический контроль окружающей среды. «Электро-Л» снабжены оборудованием для многоспектральной съемки Земли в видимом и инфракрасном диапазонах с разрешением 1 км и 4 км соответственно с периодичностью 30 мин, при необходимости периодичность съемки уменьшается до 10–15 мин. На КА установлены многозональное гидрометеорологическое сканирующее устройство, гелиогеофизический аппаратный комплекс (7 различных специализированных сенсоров), бортовой радиотехнический комплекс и система сбора данных. «Электро-Л» № 1 выведен



Малый космический аппарат для ИПРЗ и метеорологии «Канопус-В» (2012–2018). Справа – схема расположения систем и приборов на ИСЗ «Метеор-М» № 2–2 (2019). Рисунки Роскосмос, ВНИИЭМ

в точку стояния 76° в.д., работал в течение 3.5 лет, 3 октября 2016 г. переведен в точку 14.5° з.д. геостационарной орбиты и был потерян. К настоящему времени эксплуатируются два КА «Электро-Л» № 2 и № 3, в производстве находятся КА «Электро-Л» №№ 4 и 5.

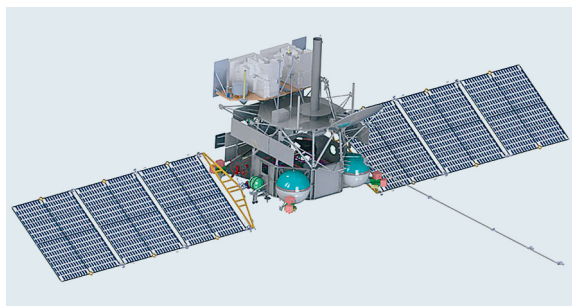
Во ВНИИЭМ для проведения космических исследований в интересах организаций Академии наук и Министерства образования были созданы КА «Коронас-Фотон» (2009), «Университетский-Татьяна-2» (2009), «Ломоносов» (2016) и др. С 2014 г. ВНИИЭМ возглавил главный конструктор Л.А. Макриденко, под его руководством был разработана серия из шести малых космических аппаратов для ИПРЗ и метеорологии «Канопус-В» (2012–2018).

В 2009 г. во ВНИИЭМ была разработана новая серия низкоорбитальных метеоспутников «Метеор-М» № 1 (17 сентября 2009 г.), «Метеор-М» № 2 (8 июля 2014 г.), «Метеор-М» № 2–1 (28 ноября 2017 г.), «Метеор-М» № 2–2 (5 июля 2019 г.), которые запускались РН «Союз-2.16» с разгонным блоком «Фрегат». В эксплуатации сейчас находятся два КА «Метеор-М» № 2 и № 2–2. Запуск еще четырех спутников «Метеор-М»

намечается на 2021–2025 гг. Ведутся работы по созданию нового перспективного «Метеор-МП».

28 февраля 2021 г. с космодрома Байконур с помощью ракеты «Союз-2.16» и разгонного блока «Фрегат» выведен на околоземную орбиту КА «Арктика-М» массой 2100 кг. Это первый из двух аппаратов, которые предназначены для работы на высокоэллиптической орбите высотой $720 \times 39\,400$ км. Данная высота позволяет в непрерывном режиме осуществлять обзор северных территорий России и Арктики, чего нельзя сделать, используя КА «Электро-Л» (их аппаратура практически совпадает).

На борту «Арктики-М» размещены следующие приборы: многозональное сканирующее устройство в ИК- и видимом диапазонах гидрометеорологического назначения для получения изображений облачного слоя и поверхности Земли; гелиогеофизический аппаратный комплекс; передачи данных между наземными метеостанциями; поисково-спасательной системы «Коспас-Сарсат» для ретрансляции сигналов от аварийных буев. Два сканера МСУ-ГСМ производят съемку в десяти спектральных диапазонах, семь из



Новый российский метеорологический КА «Арктика-М» и первый снимок, который получен им 23 марта 2021 г. Фото Роскосмос, Росгидромет

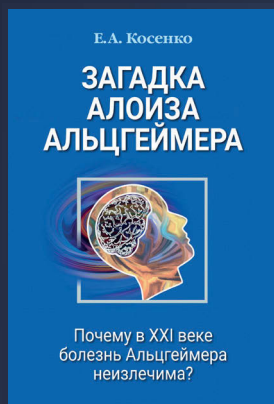
них – тепловые, что позволяет решать задачи оперативной метеорологии, гидрологии, агрометеорологии, мониторинга климата и окружающей среды. Часть приборов гелиогеофизического комплекса ГТАК-ВЭ была изготовлена в Институте прикладной геофизики им. академика Е.К. Фёдорова, их калибровку обеспечивала его метрологическая служба на созданной ранее распределенной эталонной базе. Приборы комплекса занимаются мониторингом характеристик околоземной среды при солнечных вспышках и геомагнитных бурях, которые влияют на распространение радиоволн, работу промышленных и энергетических систем, коммуникационного оборудования и транспортных трубопроводов. СКБ Института космических исследований РАН обеспечило разработку и изготовление интерфейсного электронного блока БНД-ВЭ – блока накопления данных ГТАК-ВЭ, который осуществляет сбор информации от приборов, отвечает за ее упаковку, хранение и сброс на бортовые системы «Арктики-М». НПП «Астрон Электроника» разработало магнитометрическую аппаратуру ФМ-ВЭ, которая состоит из блоков датчиков, расположенных на выносной штанге. «Арктика-М» непрерывно предоставляет оперативную информацию о состоянии атмосферы и поверхности Арктики Гидро-

метцентру России. Это позволяет повысить точность моделей при составлении краткосрочных прогнозов погоды, поможет отслеживать чрезвычайные ситуации и проводить экологический контроль окружающей среды. Данные КА планируется использовать и в научных целях для фундаментальных гидрометеорологических исследований, в том числе для изучения феномена глобального потепления. Срок активного существования спутника – 7 лет.

В 2021 г. орбитальная группировка российских спутников гидрометеорологического обеспечения и ИПРЗ включает 11 КА: 6 «Канопус-В», по 2 КА «Метеор-М» и «Электро-Л», «Арктика-М», что недостаточно для решения метеорологических задач и обеспечение данными ДЗЗ федеральных органов исполнительной власти и субъектов Российской Федерации. До 2025 г. планируется запустить четыре ИСЗ «Ионосфера» для изучения процессов и явлений, происходящих в ионосфере и два метеоспутника «Арктика-М», что позволит круглосуточно вне зависимости от погоды проводить мониторинг поверхности планеты и морей Северного Ледовитого океана.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Мониторинг», госрегистрация № 01.20.0.2.00164).

С новыми книгами
Издательства “Наука”
вы можете ознакомиться на сайте
naukabooks.ru



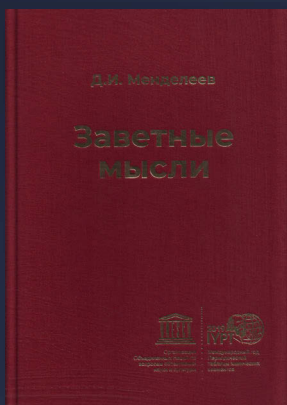
Косенко Е.А.

Загадка Алоиза Альцгеймера. Почему в XXI в. болезнь Альцгеймера неизлечима?

М.: Наука, 2019. — 319 с.

В монографии изложена актуальнейшая на сегодняшний день медико-биологическая проблема, связанная с болезнью Альцгеймера (БА), и предпринята попытка ответить на вопрос: почему заболевание, известное с начала XX в. и на изучение которого тратятся триллионы долларов, в настоящее время все еще остается неизлечимым, а имеющиеся антиамилоидные препараты приносят больше вреда, чем пользы? Для объяснения механизмов, лежащих в основе нейродегенерации при БА, формулируется «эритроцитарная гипотеза», согласно которой эритроциты рассматриваются не просто как клетки, переносящие кислород, а как клетки, от эндогенного метаболизма которых зависит адекватная доставка кислорода в ткани, и в частности в мозг. Именно функциональное несоответствие между эритроцитами и биоэнергетикой мозга, считает автор, лежит в основе гибели нейронов.

Книга может быть интересна широкому кругу читателей – студентам, обучающимся по специальностям «биология», «биомедицина», а также физиологам, биохимикам научно-исследовательских лабораторий, преподавателям высших образовательных медицинских и биологических учреждений.



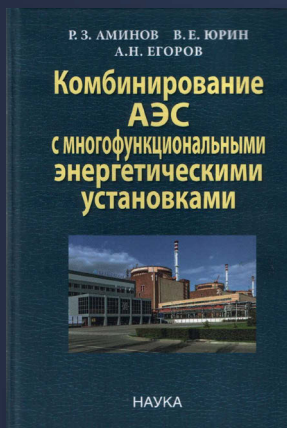
Менделеев Д.И.

Заветные мысли.

М.: Наука, 2019. — 310 с.

Д.И. Менделеев в работе «Заветные мысли» рассуждает о желательных, на его взгляд, путях развития России в геополитической, экономической и научной областях. Круг анализируемых ученым вопросов чрезвычайно широк: государственное устройство, образование, народонаселение, внешняя торговля, взаимосвязь между просвещением и национальным богатством, баланс между промышленностью и сельским хозяйством и т.д. По существу, «Заветные мысли» – духовное завещание Д.И. Менделеева потомкам.

Для широкого круга читателей.



Аминов Р.З., Юрин В.Е., Егоров А.Н.

Комбинирование АЭС с многофункциональными энергетическими установками.

М.: Наука, 2018. — 238 с.

В работе предложен новый взгляд на повышение безопасности АЭС. Разработаны и исследованы многофункциональные системы, включающие такие установки, как дополнительная паровая турбина, тепловые аккумуляторы, водородный комплекс и газотурбинные установки, позволяющие обеспечить надежное электроснабжение собственных нужд АЭС в аварийных ситуациях с обесточиванием. Исследован способ использования остаточного тепловыделения реакторов типа ВВЭР для генерации электроэнергии, необходимой для отвода остаточного тепловыделения в аварийных ситуациях с полным обесточиванием. Разработана система уравнений и построены скелетные таблицы свойств диссоциированного водяного пара, которые позволяют проводить промышленные термодинамические расчеты параметров рабочего тела водородных циклов. Исследованы процессы сжигания водорода в кислородной среде, а также определены ресурсные показатели основного оборудования водородного энергокомплекса, работающего в циклических режимах.

Для научных работников, специалистов, аспирантов, студентов старших курсов теплоэнергетических специальностей.

naukabooks.ru

КРЫМСКАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ им. Э.А. ДИБАЯ ГАИШ МГУ — ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

КОЛОТИЛОВ Евгений Анатольевич,

кандидат физико-математических наук

ТАТАРНИКОВА Анна Александровна,

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ

DOI: 10.7868/50044394821050066

В 2021 году исполняется 90 лет Государственному астрономическому институту им. П.К. Штернберга. С самого начала институт имел практическую направленность – он вырос из обсерватории МГУ на Красной Пресне (которая на целый век старше ГАИШ). Во все годы институт имел загородные базы, однако первой, по-настоящему наблюдательной базой, несомненно, является Крымская астрономическая станция. При распаде СССР в начале 90-х годов прошлого века Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга потерял две из трех наблюдательных баз – Алма-Атинскую в Казахстане и Майданакскую в Узбекистане. В российской собственности в силу определенных обстоятельств осталась южная база в Крыму. И только весной 2014 г., после воссоединения Крыма с Россией, ее принадлежность ГАИШ МГУ была закреплена окончательно. Мы рассмотрим ниже прошлое, настоящее и возможное будущее этой базы.

ИСТОРИЯ

Начало (1953–1958 гг.). Отправной точкой истории строительства Крымской станции ГАИШ можно считать 1953 год. В это время наш институт получил в свое распоряжение новое зда-



Начало

ние на Ленинских горах, чей характерный облик с четырьмя астрономическими башнями на крыше хорошо знаком многим поколениям астрономов.



1958 год. Сотрудники ГАИШ во время отправления первого автомобиля с оборудованием на Южную станцию (крайний справа – Э.А. Дибай)

Но уже в то время стало понятно, что для серьезных астрономических наблюдений обсерватория, находящаяся в пределах крупного города, не подходит из-за сильной засветки неба (позднее дело даже дошло до закрашивания наблюдателями плафонов окрестных фонарей черной краской).

Поэтому в начале 1953 г. профессор Б.А. Воронцов-Вельяминов обратился к руководству института с письмом, в котором предлагалось создать южную наблюдательную базу для Московского университета. Это письмо вызвало неоднозначную реакцию. Невзирая на поддержку заведующего кафедрой звездной астрономии П.П. Паренаго, даже в институте оно далеко не сразу получило общее одобрение – вопрос о необходимости создания базы не раз выносился на повестку Ученого совета, открытых партийных собраний, об-

суждался на страницах стенной газеты «Владилена». К единому мнению удалось прийти только два года спустя.

Следующим шагом к созданию южной станции стала попытка заручиться поддержкой ректора МГУ И.Г. Петровского. В 1955 г. он дал свое согласие и в дальнейшем всегда поддерживал развитие Южной станции ГАИШ.

П.П. Паренаго предложил построить наблюдательную базу в Крыму рядом с уже открытой на тот момент Крымской астрофизической обсерваторией. Директор КрАО А.Б. Северный благосклонно отнесся к этой идее. Большой удачей оказалось и то, что строительно-монтажное управление после завершения первой очереди строительства объектов КрАО в 1955 г. имело «окно» в 1–2 года и, чтобы не закрывать стройучасток, с удовольствием бралось за возведение базы МГУ.

Строительные работы на Южной станции были начаты в ноябре 1956 г. Проектное задание первой очереди строительства включало помимо башен для двух телескопов (40-см астрографа и 50-см камеры Максудова) также 2 дома и дорогу. В начале марта 1958 г. начальник архитектурной мастерской А.Г. Перегуда сообщил, что вскоре работы будут окончены, и сотрудники кафедры звездной астрономии стали готовиться к переезду. Был демонтирован работавший в Кучино 40-см астрограф, составлены списки всего необходимого для функционирования Южной станции. 4 апреля 1958 г. от здания ГАИШ отпавились машины со всем этим хозяйством, которые сопровождали А.С. Шаров (от кафедры) и механики Е.А. Калижонков, В.Н. Пчеленков, В.В. Волков. Следом за ними выехали Н.И. Яковлев, Ю.И. Ефремов и ответственная за всю «операцию» Д.К. Каримова.

Когда все собрались на станции, то под руководством инженера Н.И. Яковлева начался монтаж 40-см астрографа. Астрономическая установка телескопа была выполнена позднее Е.Б. Костяковой и Д.К. Каримовой. И вот в ночь с 26 на 27 апреля 1958 г. на 40-см астрографе была отснята первая фотопластинка. Именно эта дата считается днем рождения Южной станции ГАИШ. Официально ГАИШ в июле того же года уведомил Бахчисарайский райисполком о начале функционирования в Крыму нового научного учреждения. База расположена в северной части пгт Научный, площадь 6 гектаров, высота над уровнем моря 600 метров, географические координаты – долгота $34^{\circ}1'$, широта $44^{\circ}44'$.

Летом 1958 г. на станцию переехал и второй инструмент – 50-см телескоп Максудова (АЗТ-5). Он был смонтирован под руководством Г.А. Мановой, а первые снимки были получены О.Д. Докучаевой 29–30 ноября того же года. Первый новый год (1959) на стан-



Монтаж 125-см телескопа ЗТЭ (телескоп собирают внутри купола, как кораблик внутри бутылки)

ции встретили вместе три женщины – астрономы О.Д. Докучаева и В.П. Федорович и мама последней.

Становление (1959–1979 гг.). В 1959 г. был принят в эксплуатацию 4-квартирный дом, расположенный совсем близко от телескопов. В то время он использовался не только в качестве жилья для постоянных или приезжающих сотрудников. Туда перенесли звездные часы, в одной из квартир на первом этаже была устроена фотолаборатория, а в подвале – механическая мастерская. Две квартиры на втором этаже были отданы под общежития для приезжающих наблюдателей, а в квартире на первом этаже осенью 1959 г. поселился первый заведующий станцией выпускник МГУ Вячеслав Иванович Куликов.

Надо сказать, что в то время станция выглядела совершенно иначе, чем

сейчас. Например, на ней росло всего два дерева! Одно возле 4-квартирного дома и еще одно недалеко от места, где в настоящее время стоит башня 125-см телескопа ЗТЭ. Первые фруктовые деревья на станции появились в 1959 г. благодаря механику М.К. Коленцеву, который вместе с семьей поселился в финском доме. Также в финском доме с 1958 г. проживали первые постоянные сотрудники станции А.А. и И.Н. Деткины, которые выполняли всю хозяйственную работу на станции. Чуть позже на территории станции посадили сосны, и со временем вырос настоящий лес.

Третьим инструментом Южной станции ГАИШ стал 125-см рефлектор ЗТЭ (зеркальный телескоп им. Энгельгардта). Инструмент был заказан ЛОМО (Ленинградское оптико-механическое объединение) Астрономической обсерваторией им. Энгельгардта при Казанском университете, однако трудности с финансированием не позволили завершить этот проект. В феврале 1958 г. П.П. Паренаго обратился в Министерство высшего образования с предложением о передаче этого телескопа МГУ с выделением необходимого финансирования. В случае со стационарно установленным телескопом на экваториальной монтировке по внешнему виду основания хорошо заметно, что изначально телескоп планировалось установить в другом месте (с другой географической широтой). Эта особенность видна и у ЗТЭ, и у 40-см астрографа.

Строительство 14-метровой башни для ЗТЭ было начато в 1959 г. В 1961 г. был закончен монтаж телескопа, а с 1962 г. на нем начали проводиться регулярные наблюдения.

Кроме трех перечисленных телескопов на станции со временем появились еще два инструмента: в 1965 г. 48-см телескоп АЗТ-14 (позднее, в 1978 г., он был отдан в экспедицию ГАИШ под Алма-Атой, а вместо него был установ-

лен второй 60-см рефлектор Цейсс-2) и 60-см телескоп Цейсс-1, приобретенный в 1969 г. у фирмы «Карл Цейсс» (ГДР). Но до этого руководством МГУ (ректор И.Г. Петровский, проректор по общим вопросам Е.М. Сергеев и главный инженер М.Ю. Эпштейн) было принято важное решение о дальнейшем финансировании строительства станции. Соответственно в 1964–1965 гг. были проведены проектные работы, а в 1968/69 г. закончено строительство лабораторного корпуса и башни для телескопа Цейсс-1 с механической мастерской в пристройке.

Второй этап строительства пришелся на период, когда заведующим станцией был Эрнст Апушевич Дибай. Он плодотворно работал на этом посту начиная с 1961 г., а в 1978 г. уехал в Москву на преподавательскую работу. К сожалению, Э.А. Дибай рано ушел из жизни – в 1983 г. в возрасте 52 лет вследствие неизлечимой болезни. В конце 80-х годов станцию переименовали в Крымскую лабораторию ГАИШ им. Э.А. Дибая.

В 1978 г. было широко отмечено 20-летие Южной станции – в Крыму прошла представительная научная конференция с участием как местных, так и московских сотрудников ГАИШ. Основанная на крымских наблюдениях тематика обзорных докладов получилась обширной – галактики, звезды, планетарные туманности и планеты Солнечной системы. Все эти доклады, а также сообщения об истории станции и ее роли как учебной базы опубликованы в Трудах ГАИШ (том 52, 1982 г.).

Последним крупным строительством стало законченное в 1979 г. возведение 20-квартирного жилого дома, с окончанием которого закончился и определенный этап в развитии Южной станции ГАИШ.

Еще СССР (1980–1991 гг.). В 1980 г. научный штат станции состоял из 8 человек: В.Ю. Теребиж (окончил Ленинград-

ский университет, на работу в ГАИШ перешел в 1973 г. из Бюроканской обсерватории, Армения, с 1978 по 1991 г. – заведующий станцией), Г.В. Зайцева, В.Т. Дорошенко, В.М. Лютый, Е.А. Колотиллов, В.И. Шенаврин, В.Г. Метлов и Н.В. Метлова (окончила Уральский университет). Все остальные – выпускники МГУ. Позднее в научный штат были приняты В.В. Бирюков и Г.В. Борисов, также выпускники МГУ.

В середине 80-х годов в СССР началась так называемая «перестройка», в частности разрешили создание кооперативов. В Крымской лаборатории кооператив по изготовлению фотометров просуществовал недолго, тем не менее из его доходов были приобретены первые персональные компьютеры. Так же в этот период было начато строительство нового двухэтажного здания под склад и общежитие, которое из-за характерной формы было известно среди студентов 1990-х гг. под названием «барак», а позднее превратилось в комфортабельную гостиницу-общежитие. По инициативе и под руководством В.Ю. Теребижа установили новое зеркало на ЗТЭ. Новые веяния в стране привели к большей самостоятельности станции. Так, например, впервые на станции появился свой бухгалтер, в чье ведение был передан фонд зарплаты.

В начале 90-х годов экономика СССР стремительно рушилась. В результате этого на заседании Ученого совета ГАИШ было заявлено, что «при данном финансовом положении института дирекция вынуждена провести консервацию наблюдательных баз». Разрушение экономики страны сопровождалось

политическим хаосом, что не могло не сказаться и на положении станции. К концу 1991 г. Советский Союз распался окончательно, и с образованием СНГ начался новый отсчет времени.

После распада СССР (1992–2013 гг.). В первой половине 1992 г. развернулась настоящая борьба за будущее Крымской лаборатории. Суверенитет новых государств СНГ включал в себя передачу всех организаций союзного подчинения, расположенных на их территории, в собственность, в нашем случае – Украине. Зимой 1991/92 г. об этом руководству лаборатории дважды письменно напоминал исполком Бахчисарайского районного совета народных депутатов. Более того, тут же появился эмиссар от астрономов Одессы в ранге депутата Верховной рады Украины с предложением присоединиться к ним. Все это легло на благодатную почву для тогдашнего руководства лаборатории в силу сформировавшегося у него к концу 80-х годов стремления к максимальной самостоятельности от ГАИШ.

На общем собрании сотрудников 22 января 1992 г. был приведен и дополнительный аргумент в пользу



В.Ф. Есипов и Э.А. Дибай на телескопе ЗТЭ

перехода под юрисдикцию Украины – предстоящий переход вместо рублей на купоны-карбованцы мог привести к невыплате зарплаты и коллапсу материально-технического снабжения.

Однако практически все научные сотрудники, взвесив «за» и «против», высказались за сохранение российского статуса Крымской лаборатории и принадлежности к МГУ. Руководство ГАИШ (директор А.М. Черепашук, зам. директора А.К. Кривошеин) и председатель профкома В.Ф. Есипов направили свои действия на заключение с правительством Автономной Республики Крым договора о принадлежности лаборатории Московскому университету. Научные же сотрудники обсерватории успешно заблокировали две попытки руководства лаборатории провести в марте и апреле 1992 г. общие собрания коллектива по поводу изменения статуса.

Таким образом, 28 мая 1992 г. председатель Совета министров АРК И.А. Франчук и ректор МГУ В.А. Садовничий подписали договор, по которому сохранялась российская принадлежность Крымской лаборатории ГАИШ. В июле 1992 г. новым заведующим был назначен кандидат физ.-мат. наук Е.А. Колотилов.

Естественно, что работа в новых условиях началась с трудностей. Перестала функционировать банковская система, и рублевые переводы из Москвы стали застревать в Киеве. После трех месяцев без зарплаты пришлось начать ежемесячно возить наличность в поездах. Рисковали все – и дирекция института, разрешающая выдачу зарплаты и денег на хозяйственные нужды, и руководство лаборатории в поездах. Между Россией и Украиной появилась граница и, соответственно, таможня. Надо еще иметь в виду криминальную обстановку «90-х» годов. К счастью, обошлось без происшествий, а со временем ситуация выправилась и заработали банки.

Другие насущные проблемы первого периода новой жизни – уголь и бензин. На зиму 1992/93 г. оставались кое-какие старые запасы угля, пару раз выручали соседи – КраО. Решающим же обстоятельством оказалось то, что благодаря препринимателю, по договору делавшему у нас машину для резки блоков из ракушечника, вышли на директора военного совхоза, уже украинского, под Феодосией. По бартеру, в обмен на мебель с нашего склада, он через весь Крым прислал в пос. Научный несколько многотонных машин с углем.

Кризис с топливом в тот период сделал дороги Крыма практически пустынными. Нам приходилось покупать бензин у лиц, переправляющих его контрабандой через Керченский пролив из России. Привозили его в обычных легковых машинах, но полностью заставленными канистрами, да еще с переделанным для этих целей багажником. Расплачивались, естественно, наличными, часть денег привозили из Москвы, часть – зарабатывали сами.

Еще одна проблема тех лет – перебои с общим снабжением электроэнергией. Пришлось срочно приобретать для обсерватории дизель-генератор. И даже какое-то время наблюдать с его помощью (но, конечно, гораздо важнее была возможность быстро закрыть купол ЗТЭ в случае ухудшения погоды во время внезапного отключения электричества).

Наконец, с 1993 г. заметно возросли расходы лаборатории, поскольку кроме собственной хозяйственной деятельности необходимо было совместно с КраО принимать участие еще и в поддержке всей инфраструктуры пос. Научный (медобслуживание, водоснабжение, транспортное обеспечение и др.), для которого КраО была, по сути, градообразующим предприятием. Заключенный с КраО договор о взаимных обязательствах определял вклад в организацию медицинского обслужи-

вания населения, транспортное обеспечение столовой и магазинов, водоснабжение поселка и т.д. Со своей стороны КрАО предоставила лаборатории средства связи (электронную почту, телетайп, факс), подключила телефоны к своей новой АТС и обеспечила производство жидкого азота для инфракрасных наблюдений.

Осенью 1993 г. на должность заведующего по АХЧ был назначен Анатолий Анатольевич Павлов. Это самым лучшим образом сказалось на всей дальнейшей деятельности станции, в частности было достроено и введено в эксплуатацию здание общежития для студентов и школьников. Потом А.А. Павлов успешно проработал три года заместителем директора по АХЧ учебного филиала МГУ, открытого в 1999 г. в г. Севастополе. А с 2003 г. он работает в должности заместителя директора по АХЧ в ГАИШ в г. Москве.

В середине 90-х годов началось развитие сети Интернет. Тогда основной услугой сети была электронная почта, и в 1994 г. Крымская лаборатория ГАИШ получила доменное имя – *sa1.crimea.ua*. Связь с провайдером осуществлялась с помощью обычного модема по междугородней телефонной линии в г. Симферополе со скоростью 2100 бит/с.

В 1995 г. по поручению дирекции в Крым прибыли сотрудники ГАИШ О.С. Бартунов и Е.Б. Родичев. Преодолев немало трудностей технического и организационного характера, в декабре 1995 г. московские специалисты успешно создали выделенный канал доступа лаборатории в Интернет. Большую помощь в этом оказал Виктор Михайлович Лютый. В конце 90-х годов началось бурное развитие беспроводных технологий. Это позволило в 1999 г. получить для Крымской лаборатории радиоканал с пропускной способностью 2 Мбит/с.



Д.Я. Мартынов и В.М. Лютый на фоне телескопа Цейсс-1 с установленным на нем UVB фотометре Лютого

На начало 2000-х гг. научный штат состоял из двух докторов физ.-мат. наук В.Ю. Теребижа и В.М. Лютого, шести кандидатов физ.-мат. наук Е.А. Колотилова, Г.В. Зайцевой, В.Т. Дорошенко, В.Г. Метлова, В.И. Шенаврина и Т.Р. Ирсмамбетовой («беженец» из Узбекистана, до 1993 г. работала в Среднеазиатской обсерватории ГАИШ г. Майданак) и трех сотрудников без степени Н.В. Метловой, В.В. Бирюкова и Г.В. Борисова. В этот период начались первые сложности с юридическим статусом станции. Весной 2006 г. Фонд имущества Украины уведомил ГАИШ, что Крымская лаборатория должна принадлежать Украине. Киев не принимал во внимание договор между Автономной республикой Крым и МГУ, заключенный в 1992 г., и ссылаясь на «Соглашение между Российской Федерацией и Украиной о взаимном признании

прав и регулировании отношений собственности» от 15 января 1993 г.

Осенью 2008 г. на совещании директоров астрономических учреждений Украины было решено, что Крымскую лабораторию следует присоединить к КраО, входящей в то время в состав Министерства образования и науки (МОН) Украины. Осенью 2011 г. Фонд имущества Украины известил ГАИШ, что готовится соответствующее постановление Кабинета министров. И осенью 2012 г., несмотря на то что Соглашение 1993 г. не было ратифицировано Государственной думой РФ, Фонд имущества Украины объявил Крымскую лабораторию своей собственностью. При этом большинство сотрудников станции захотели остаться под российской юрисдикцией и заняли активную позицию по этому вопросу: обращались с соответствующими письмами в Ученый совет ГАИШ, в Евро-Азиатское Астрономическое общество, в Фонды имущества Украины и России, непосредственно к ректору МГУ В.А. Садовничему.

В то время ситуация как в Крымской лаборатории, так и в КраО менялась довольно быстро. Так, с начала 2011 г. лаборатория была передана напрямую в ведение ректората МГУ (так как ГАИШ больше не обладал юридическим статусом, чтобы создавать зарубежные представительства). Это привело к очередному переименованию. Крымская лаборатория ГАИШ не сразу превратилась в Южную станцию МГУ. В 2012–2013 гг. одна и та же станция функционировала под двумя различными названиями.

Директором Южной станции МГУ был назначен А.В. Барабанов, выпускник МГУ и работник ректората. Заместителем директора остался В.Н. Комиссаров, занявший эту должность после ухода А.А. Павлова. Новый штат заработал с 9 января 2014 г., при этом в его состав вошел только хозяйственный и административный персонал, а научные

сотрудники были переведены в различные отделы ГАИШ. Часть хозяйственного персонала и некоторые научные сотрудники оказались невостребованными для работы в Южной станции МГУ.

Между тем осенью 2012 г. КраО совершено неожиданно указом президента Украины В.Ф. Януковича была передана в состав Киевского национального университета с потерей статуса юридического лица. Однако летом того же года трудовой коллектив обсерватории принял решение о переходе в состав Национальной академии наук Украины. В КраО развернулась борьба за тот или иной вариант, исполнение указа президента затянулось, и украинским чиновникам было не до Южной станции МГУ.

Крымская весна 2014 г. Проблема принадлежности Южной станции решилась сама собой в марте 2014 г., когда Крым вернулся в состав России! Соответственно приказом по МГУ от 16 октября 2014 г. было создано обособленное подразделение университета «Крымская астрономическая станция МГУ им. Ломоносова». С этого момента началась новая эпоха в истории станции.

Первой ласточкой этой эпохи можно считать установку на станции осенью 2015 г. нового инструмента – роботизированного телескопа «Мастер-Таврида» (элемент большой сети робот-телескопов «Мастер»). Впервые за почти 40 лет на обсерватории появился новый телескоп.

За последние семь лет на станции была введена в строй система синхронизации движения купола и телескопа Цейсс-2 при наблюдениях, на этом телескопе установлена новая ПЗС-камера. Приобретены новые компьютеры, на станции проведены оптоволоконные линии, и Интернет теперь хорошо работает на всех инструментах. Была решена проблема отопления на производственной территории – вместо котельной на угле сейчас работает собственная газо-

вая котельная. Остается проблема служебного автотранспорта – две единицы пассажирского списаны, но новые пока не приобретены.

Ситуация с оторванностью наблюдательной базы от института выглядела искусственной, и в 2017 г. станцию снова вернули в ГАИШ как структурную единицу с длинным названием – Технический отдел по обеспечению функционирования Крымской астрономической станции ГАИШ МГУ. Возглавил станцию заместитель директора ГАИШ А.А. Белинский, зам. директора остался В.Н. Комиссаров. Вскоре после этого, в апреле 2018 г. был отмечен очередной юбилей станции – 60 лет!

ТЕЛЕСКОПЫ

Астрограф. Первым инструментом, установленным на Южной станции, был 40-см астрограф. Это старый, еще дореволюционного изготовления, рефрактор с четырехлинзовым объективом фирмы «Цейсс». Изначально он работал в Зонненбергской обсерватории (и был любимым инструментом известного исследователя переменных звезд К. Хоффмейстера). А после войны был вывезен из Германии в СССР в счет репараций, причем он был выбран лично Б.В. Кукаркиным, в то время капитаном Красной армии (а в мирной жизни – известным исследователем переменных звезд и звездных скоплений). Фокусное расстояние телескопа 160 см, поле зрения 10×10 градусов на фотопластинке размером 30×30 см.

Телескоп долгие годы использовался для поиска переменных звезд, в том числе осуществлял работу в рамках программы Службы сверхновых. За время работы на Южной станции на 40-см астрографе было получено 22 229 негативов. Сейчас вся фототека находится в ГАИШ, и постепенно проводится оцифровка накопленных снимков.

В середине 90-х годов на астрографе была установлена ПЗС-камера. В 1997–2010 гг. В.Ф. Есиповым, В.Г. Метловым, а также другими сотрудниками, аспирантами и студентами проводились регулярные наблюдения центральных частей галактик М31 и М33 в линии водорода $\text{H}\alpha$ (с интерференционным фильтром) с целью поиска вспышек новых звезд.

В настоящее время 40-см астрограф не используется.

АЗТ-5. Это второй телескоп, установленный на Южной станции ГАИШ, первые снимки на котором сделаны в ночь с 29 на 30 ноября 1958 г. Это инструмент системы Максудова с диаметром мениска 50 см, фокусным расстоянием 200 см, диаметром зеркала 70 см.

Невиньетированное поле диаметром около 4 градусов при хорошей юстировке позволяло получать негативы, пригодные для фотографической фотометрии в разных цветах. Кассетодержатель расположен в прямом фокусе внутри трубы, для фотографирования использовались пластинки размером 13×13 см. Телескоп укомплектован двумя объективными призмами с преломляющими углами 3 и 7 градусов, что позволяет проводить бесщелевые спектральные наблюдения одновременно всех звезд и туманностей, попадающих в поле зрения.

На телескопе с 1967 по 2005 г. проводились наблюдения галактик М31 и М33 по программе поиска новых, предложенной А.С. Шаровым (часть работ выполнялась совместно с Радиоастрофизической обсерваторией АН Латвийской ССР). Большое поле зрения АЗТ-5 способствовало тому, что некоторые новые звезды были открыты на больших расстояниях от центра М31 (а всего этой по программе в туманности Андромеды было открыто около 70 новых).

Наблюдения объектов с эмиссионными спектрами по программе, пред-



Е.А.Колотилов на телескопе АЗТ-14

ложенной Б.А. Воронцовым-Вильямовым еще в 1959 г., продолжают и в настоящее время (М.А. Бурлак, Н.П. Иконникова и др.).

За 50 лет фотографических наблюдений было получено 11 747 прямых снимков по программам исследования переменных звезд различных типов (С.Ю. Шугаров, В.П. Горанский, Д.Ю. Цветков и др.) и по морфологии галактик (В.Г. Метлов). Кроме того, было получено 2265 снимков с объективной призмой.

После 2009 г. фотопластинки уже не применяются и телескоп работает с ПЗС-матрицей. Из-за этого эффективность телескопа при многоцветной фотометрии стала значительно выше, и выполнять измерения и обработку снимков стало удобнее и быстрее.

АЗТ-14. Телескоп представлял собой стандартный, производимый ранее ЛОМО, телескоп-рефлектор с диаметром зеркала 48 см. С 1965 г. он использовался на станции всего несколько лет, но на нем были получены важные, использующиеся до сих пор во всем мире результаты – определено абсолютное распределение энергии в спектрах большого числа звезд. Эта работа выполнялась по теме «Спектрофотоме-

трия ярких звезд» в конце 60-х и в первой половине 70-х годов в ГАИШ под руководством И.Н. Глушневой. Основные наблюдения проводились на 48-см телескопе в Крыму постоянными сотрудниками В.Т. Дорошенко и Е.А. Колотиловым, несколько лет проработавшей здесь Л.В. Моссаковской и командированными из Москвы И.Б. Волошиной и Т.С. Фетисовой. Для регистрации использовался сканирующий спектрометр по схеме Сейя–Намиоки.

Кроме наблюдений в оптическом диапазоне длин волн перед Е.А. Колотиловым была поставлена задача – сделать такой же спектрометр для ближнего ИК-диапазона. Приемником излучения послужил ФЭУ-83, охлаждаемый твердой углекислотой. Наблюдения на новом ИК-спектрометре позволили расширить исследуемый диапазон длин волн. Все результаты выполненных в Крыму (а позднее на высокогорной экспедиции ГАИШ под Алма-Атой и на Китабской широтной станции Ташкентского института астрономии) наблюдений 735 звезд были опубликованы в книге «Спектрофотометрия ярких звезд» в 1982 г.

ЗТЭ. Самым крупным телескопом Южной станции является 125-см рефлектор ЗТЭ с фокусным расстоянием 20 м. Установленный в 1962 г., телескоп неоднократно модернизировался: в 1967 г. был смонтирован новый пульт управления телескопом, позволявший наводиться по экваториальным координатам; чуть позже была проведена работа по ретуши зеркал телескопа, и в результате удалось достичь размера абберационного диска 0.7–0.8 секунды дуги; в 80-годы главное зеркало из пирекса, обладавшее высоким температурным коэффициентом расширения, было заменено на ситалловое; наконец, в 2002–2004 гг. сотрудниками ГАИШ В.Г. Корниловым, Н.И. Шатским и В.И. Шенавриным была прове-

дена наиболее крупная модернизация ЗТЭ – все двигатели переменного тока заменены на шаговые, модернизированы тормозные механизмы, оцифрованы сельсины телескопа, заменено все кабельное хозяйство, аналоговый пульт управления заменен на компьютер и модернизирована система вращения купола башни, который стал автоматически отслеживать положение трубы телескопа. В результате модернизации скорость наведения на объект резко возросла при многократном улучшении точности.

Первоначальное навесное оборудование ЗТЭ состояло из двух спектрографов, один из которых так и остался «музейным» экспонатом. Другой был с кварцевой призмой и некоторое время с ним проводились наблюдения. Впоследствии для телескопа были изготовлены два спектрографа – «А» и «Б», приспособленные для работы с электронно-оптическими преобразователями. Первый оказался чрезвычайно эффективным и до сих пор используется с ПЗС-матрицей в качестве приемника. Также некоторое время на ЗТЭ использовался серийный спектрограф UAGSS фирмы «Карл-Цейсс».

Значительный процент наблюдательного времени ЗТЭ был отдан инфракрасной астрономии – на нем с самого начала со своими ИК фотометрами и спектрометрами проводил пионерские исследования планет и холодных звезд известный астроном Василий Иванович Мороз. Группа ИК астрономии со временем выросла – О.Г. Таранова, А.Э. Наджип, В.И. Шенарин, Б.Ф. Юдин разрабатывали и с помощью мастерских ГАИШ и Крымской станции изготавливали аппаратуру для наблюдений в ближнем и даже среднем ИК-диапазонах (от 1 до 20 мкм). Один из подобных приборов – ИК-фотометр – при постоянной модернизации работает на длинах волн 1–5 мкм

до сих пор, являясь уникальным для России прибором и одним из немногих в мире, работающих в этом очень интересном и важном спектральном диапазоне. Особенностью этого фотометра является возможность полностью убрать фон неба во время наблюдений. Поэтому традиционно при разделе времени на долю наблюдений с ИК фотометром приходится периоды вблизи полнолуний, так как с этим прибором можно наблюдать звезды даже днем!

Сейчас на телескопе основное время распределяется между А-спектрографом (диапазон 0.4–1 мкм) и ИК-фотометром (1–5 мкм).

Цейсс-1 и Цейсс-2. Как уже было написано выше, на Крымской станции работают два одинаковых телескопа Цейсс-600, называемых по порядку появления на станции «Цейсс-1» и «Цейсс-2». Они выполнены по классической схеме Кассегрена на экваториальных монтировках немецкого типа. Как видно из обозначения телескопа, диаметр его объектива равен 600 мм. При этом фокусное расстояние составляет 7.5 м. Оптика телескопов имеет неплохое качество и при хороших атмосферных условиях позволяет получать угловое разрешение около 1". При этом монтировка, увы, не обладает ни высокой жесткостью, ни точным ведением, что ограничивает предельные экспозиции.

Цейсс-1 является, по сути, телескопом одного прибора. На нем с конца 60-х годов «висит» фотоэлектрический фотометр, разработанный и изготовленный В.М. Лютым. Фотометр Лютого оказался настолько удачным, что используется до сих пор. Это позволяет наблюдателям иметь однородные ряды данных, для некоторых объектов длительностью более 50 лет! Наблюдательное время на телескопе всегда де-



Панорама Южной станции (справа налево: Цейсс-1, Цейсс-2, астрограф, ЗТЭ, АЗТ-5 и 4-квартирный дом). 70-е годы.

лилось очень плотно – иной раз слотами по 30 минут.

Телескоп Цейсс-2 в основном так же используется как фотометрический инструмент, однако в разное время на нем наблюдали с самыми разными приборами, в том числе и с такими экспериментальными, как, например, акустооптический спектрометр изображения (В.Я. Молчанов, С.П. Аникин, В.Ф. Есипов и А.М. Татарников). С конца 90-х годов наиболее востребованными являются ПЗС-фотометры. Время на телескопе выделяется в соответствии с заявками, и обычно наблюдатель получает в свое распоряжение несколько ночей подряд.

МАСТЕР-Таврида. Является самым молодым инструментом станции. Этот телескоп является составной частью большой сети робот-телескопов «МАСТЕР» (создана под руководством профессора МГУ В.М. Липунова). Как и все телескопы сети, он представляет собой два зеркально-линзовых телескопа

системы Гамильтона с диаметром 40 см и фокусным расстоянием 1 м, установленных на одной параллактической монтировке. Телескоп имеет возможность быстрого наведения на объект (50 градусов в секунду), может работать как в полностью автономном режиме, так и удаленно управляться человеком. Инструмент оснащен двумя ПЗС-камерами, фотометром и поляриметром. Также на нем установлены две камеры сверхширокого поля (400 квадратных градусов), дающие возможность наблюдать случайно попавшие в поле зрения гамма-всплески со скоростью вплоть до 7 кадров в секунду.

К настоящему моменту телескоп МАСТЕР-Таврида уже полностью включился в работу сети. На нем наблюдаются астрономические объекты самых разных классов, начиная от потенциально опасных астероидов и заканчивая гамма-всплесками в удаленных галактиках. На его счету такие важные научные результаты, как открытие поляри-

зации излучения гамма-всплеска и обнаружение антивспышки, связанной с источником нейтрино вблизи блазара TXS0506+056. Крымский телескоп принимает участие во всех глобальных программах сети, позволяя расширить покрытие сети по долготам.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНОЙ РАБОТЫ

За время существования станции на ее инструментах наблюдались и наблюдаются самые разные астрономические объекты: звезды, звездные скопления, туманности, галактики, планеты, кометы, астероиды и др. Трудно в рамках одной статьи рассмотреть все направления исследовательской деятельности обсерватории и отдать должное всем наблюдателям, десятилетиями принимавшим участие в наблюдениях по различным программам. Выделим только несколько тем.

Сверхновые звезды. Программа поиска сверхновых звезд (SN) была начата на Южной станции еще в 1960 г. Для этой цели на 40-см астрографе регулярно фотографировали области неба, содержащие большое количество галактик. Первая сверхновая была открыта Н.Е. Курочкиным в феврале 1963 г. В течение следующих почти 20 лет было открыто еще 7 сверхновых. Программа была существенно расширена: были не только добавлены новые поля для фотографирования, но и стал проводиться поиск SN по снимкам, сделанным для других программ. В результате этого с.н.с. станции Г.В. Зайцева открыла две сверхновые, а н.с. Н.В. Метлова – 9 (и была награждена медалью Астросовета АН СССР). Для того времени это были впечатляющие цифры. Например, в 1983 г. 19% от всех открытых в мире сверхновых было открыто именно в Крыму. При этом одновременно с программой поиска SN на телескопах

Южной станции проводились программы спектральных и фотометрических наблюдений уже открытых SN. И если после 1987 г. программа поиска сверхновых была фактически свернута (экономические трудности, проблемы с поставками фотопластинок), то фотометрические наблюдения SN проводились регулярно Д.Ю. Цветковым и Н.В. Метловой с использованием фотоэлектрического UVB-фотометра. А с 1998 г. и по настоящее время регулярно проводятся фотометрические наблюдения SN звезд с ПЗС-камерой, установленной на 60-см рефлекторе Цейсс-2 (Д.Ю. Цветков и Н.Н. Павлюк). Каждый год по программе исследования сверхновых звезд наблюдается до 20 SN, многие исследования проводятся совместно с итальянскими коллегами.

Катаклизмические переменные. Среди всего многообразия переменных звезд, наблюдавшихся на инструментах Южной станции, особо упомянем класс катаклизмических переменных. Это крайне разношерстный класс объектов, к которому в том числе относятся карликовые новые, новоподобные переменные, классические новые и даже симбиотические звезды. Все эти звезды – двойные. Практически во всех в качестве горячего компонента выступает белый карлик, а вторичным компонентом является либо красный карлик (т. е. маломассивная звезда главной последовательности) либо красный гигант (только у симбиотических звезд). Соответственно орбитальные периоды таких систем составляют от нескольких часов до десятков (а вероятно, что и сотен) лет.

Вспышки у таких объектов могут происходить как достаточно часто (у карликовых новых характерный интервал между вспышками – несколько десятков дней), так и наблюдаться один раз за всю историю наблюдений (новые и симбиотические новые). Вспышки отличаются большим разнообразием фотомет-

рических и спектральных характеристик, а также различными временными шкалами развития вспышек. Например, карликовая новая SS Cyg после вспышки возвращается к прежнему блеску в течение 1–2 недель, а симбиотическая новая PU Vul (объект Кувано-Хонда) после единственной вспышки 1979 г. к настоящему времени так и не вернулась в спокойное состояние.

У одного и того же объекта могут наблюдаться разные типы переменности блеска с различными характерными периодами, что ведет к определенным требованиям при организации наблюдений. Так, например, у некоторых объектов наблюдается быстрая переменность блеска с небольшими амплитудами, что требует проведения мониторингов с высоким временным разрешением (~10 секунд) и хорошей точностью.

Наблюдения новых звезд нашей галактики по программе Б.А. Воронцова-Вильямина были начаты на АЗТ-5 в 1959 г. (О.Д. Докучаева, В.П. Архипова, М.В. Савельева). Фотографическая служба неба, организованная в то время на Южной станции, способствовала изучению катаклизмических переменных различных типов. А программы поиска новых звезд в галактиках М31 и М33, начатые в 1967 г. на АЗТ-5 и продолженные в дальнейшем на 40-см астрографе, были неизменным пунктом программы летней практики у многочисленных поколений студентов астрономов.

Позднее эти работы продолжились, причем стали проводиться не только в оптическом, но и в ИК-диапазоне. Показателен в этом отношении пример яркой новой, вспыхнувшей в созвездии Лебедя в 1975 г. На Южной станции она была независимо открыта вечером 29 августа студентом С.Ю. Шугаровым невооруженным глазом! Сразу же Д.Я. Мартынов и С.Ю. Шугаров начали проводить фотометрические наблюдения на телескопе Цейсс-1

(UBV-фотометр). Параллельно объект наблюдался и на других инструментах станции в различных спектральных диапазонах: И.Н. Глушнева, В.Т. Дорошенко и И.Б. Волошина на сканирующем спектрометре изучили эволюцию спектра на различных этапах развития вспышки, схожую работу, но в красной и ближней ИК-области проделали Е.А. Колотилов и А.А. Либерман, а В.И. Мороз, В.И. Шеннаврин и А.А. Либерман провели инфракрасную JHKLMN-фотометрию новой. Интересно, что работы по изучению этой новой продолжались и спустя десятилетия после вспышки.

Работы по исследованию новых звезд на станции продолжают и в настоящее время. В 1992 г. на ЗТЭ начались регулярные спектральные наблюдения с использованием А-спектрографа с ПЗС-камерой конструкции В.Ф. Есипова (В.Ф. Есипов, В.П. Архипова, М.А. Бурлак). Спектральный материал, полученный за эти годы, стал основой многих научных статей, диссертаций, а также курсовых и дипломных работ. Стоит отметить, что нынешнему молодому поколению астрономов досталась яркая Новая Дельфина 2013 г., которая, уступая по яркости Новой Лебедя, в максимуме блеска так же была видна невооруженным глазом на крымском небе.

Долгие годы катаклизмические переменные наблюдаются с помощью UBV-фотометра, установленного на телескопе Цейсс-1 (В.М. Лютый, И.Б. Волошина, В.П. Горанский, С.Ю. Шугаров, Г.В. Борисов, Е.А. Колотилов, Г.В. Комиссарова, Н.В. Метлова). А с начала 2000-х годов активные наблюдения слабых катаклизмических переменных с помощью ПЗС-камер начались на телескопах Цейсс-2 и АЗТ-5 (С.Ю. Шугаров, Н.А. Катышева, С.В. Антипин, В.П. Горанский и др.).

Многолетние однородные ряды наблюдений катаклизмических переменных, полученные на инструментах Южной

станции, уже помогли построению теоретических моделей вспышек некоторых типов объектов. А в дальнейшем, возможно, прояснят такие пока еще не решенные загадки звездной эволюции, как Красные новые или вероятные предшественники SN Ia – симбиотические звезды.

Протопланетарные объекты и FG Sge. Большая работа по исследованию звезд на поздних стадиях эволюции, которая ведется в настоящее время с использованием почти всех инструментов станции, имела своим началом программу Б.А. Воронцова-Вельяминова по исследованию планетарных туманностей (1959 г.). В результате этой программы была проведена абсолютная спектрофотометрия всех планетарных туманностей, доступных для наблюдения с телескопом АЗТ-5 в Крыму, и получены физические параметры для 40 планетарных туманностей и их ядер (Е.Б. Костякова, О.Д. Докучаева, В.П. Архипова). С 1967 г. проводились фотометрические наблюдения планетарных туманностей на UVB-фотометре конструкции В.М. Лютого.

Особое внимание привлекло к себе быстро эволюционирующее ядро планетарной туманности He1–5 (FG Sge). Объект начал наблюдаться на станции в 1967 г. В.П. Архиповой. Было известно, что фотографический блеск звезды постепенно рос с конца 19 века, и к моменту начала наблюдений на Южной станции звезд поярчала уже на 4 звездные величины (т. е. в 40 раз). Наблюдения на UVB-фотометре показали, что блеск в полосе V достиг максимума в 1970 г. Фотометрические (В.П. Архипова, Г.В. Зайцева, Н.П. Иконникова и др.) и спектральные наблюдения (В.Ф. Есипов и др.) показали, что температура FG Sge существенно упала за период 1967–1992 гг. (спектр звезды изменился от раннего сверхгиганта, спектрально-го класса F3 до оранжевого сверхгиганта спектрального класса K1). При этом

в спектре появились и стали усиливаться линии так называемых s-элементов (элементов, рождающихся вследствие процесса медленного захвата нейтронов) – Sr, Zr, лантаноиды. Такая фотометрическая и спектральная эволюция получила свое объяснение в рамках модели т. н. «последней гелиевой вспышки» (когда загорается гелий, накопленный ранее во время горения водорода в слоевом источнике). При этом из-за конвекции на поверхность звезды выносятся продукты нуклеосинтеза, происходящего в более глубоких (горячих) слоях.

В 1992 г. FG Sge, ранее демонстрировавшая лишь небольшие колебания блеска, связанные с пульсациями, неожиданно резко и быстро ослабла в оптическом диапазоне (на 5 величин или в 100 раз за два месяца). При этом в спектре появились сильные полосы углерода C₂, а линии, наблюдавшиеся ранее в поглощении, стали наблюдаться в излучении (В.Ф. Есипов, В.П. Архипова, Н.П. Иконникова). Наблюдения с ИК-фотометром на ЗТЭ подтвердили появление пыли у FG Sge. За период 1992–2008 гг. было обнаружено 20 таких пылевых минимумов с амплитудами от 1.5 до 8 звездных величин, схожих с пылевыми минимумами, наблюдавшимися у знаменитой «антиновой» R CrB!

При этом в оптическом диапазоне со временем звезда перестала быть доступна телескопам станции, и наблюдения продолжают в ИК-диапазоне, где излучение меньше поглощается пылью, а в длинноволновом диапазоне она, наоборот, излучает. Многолетние многоцветные наблюдения FG Sge на стадии пылевых минимумов, проведенные на телескопах Южной станции, являются уникальными в мировой практике астрономических наблюдений.

FG Sge – первый в истории астрономии объект, который, дойдя до состояния горячего ядра, ионизирующего ту-

манность, повернул свой эволюционный трек вспять и за время, сравнимое с жизнью человека, дошел до стадии красного сверхгиганта!

Сейчас астрономам известно три таких объекта. Причем второй из них – объект Сакураи (V4334 Sgr) также активно наблюдался на Южной станции ГАИШ. И демонстрировал еще более быструю эволюцию, чем FG Sge. Такие объекты получили в англоязычной литературе название *born-again AGB objects* (рожденные заново звезды асимптотической ветви гигантов).

На станции начиная с 1990 г. проводятся регулярные наблюдения звезд, занимающих промежуточное положение между гигантами асимптотической ветви и молодыми ядрами планетарных туманностей (*post-AGB* звезды). Наблюдения проводятся на телескопах Цейсс-1 (UBV-фотометр, наблюдатели: В.П. Архипова, Р.И. Носкова, Н.П. Иконникова, М.А. Бурлак) и ЗТЭ (А-спектрограф, наблюдатели В.Ф. Есипов, В.П. Архипова, Н.П. Иконникова, М.А. Бурлак и ИК-фотометр, наблюдатель В.И. Шенаврин). Подавляющее число программных звезд ранее никем не исследовалось. Для них получены физические характеристики и исследована переменность блеска и спектра. Оказалось, что такие объекты представляют собой кислородно-углеродные ядра с массой 0.5–0.8 масс Солнца, окруженные газовой оболочкой, имитирующей характеристики желтых сверхгигантов. В дальнейшем при практически постоянной светимости произойдет увеличение температуры такой звезды, что, в свою очередь, приведет к ионизации сброшенной оболочки. И родится планетарная туманность! С изучения которых в далеком 1959 г. были начаты наблюдения на Южной станции ГАИШ, столь много давшие для понимания звездной эволюции...

Молодые звезды. На Южной станции первые исследования молодых звезд

начал Э.А. Дибай, внимание которого привлекли кометообразные туманности. В 1964–1968 гг. были проведены наблюдения (прямые фотографии, спектроскопия и UBV-фотометрия) как самих туманностей, так и связанных с ними молодых звезд. Был рассмотрен ряд теоретических аспектов проблемы с точки зрения магнитной газодинамики. Результаты этих исследований были обобщены Э.А. Дибайем в его докторской диссертации.

В ГАИШ задача изучения молодых звезд была предложена в середине 60-х годов П.Н. Холоповым. Сразу же на Южной станции Г.В. Зайцева начала фотоэлектрическую UBV-фотометрию с прибором конструкции В.М. Лютого, а с начала 70-х годов исследования молодых звезд стал проводить также Е.А. Колотилов.

Г.В. Зайцева впервые обнаружила у одной из молодых звезд, UX Ori, эффект «поголубения» излучения во время глубоких непериодических ослаблений блеска. В начале 70-х годов на станции были организованы пионерские одновременные UBV-фотометрические (Г.В. Зайцева), спектральные (Е.А. Колотилов) и ИК-наблюдения (В.И. Шенаврин) таких объектов, которые получили название «звезды типа UX Ori». Зарегистрированные явления объясняются коронографическим эффектом, когда при затмениях центральной звезды плотными сгустками диска, видимого с ребра, сильно возрастает доля рассеянного излучения.

Изучались также молодые звезды типа YY Ori, у которых присутствуют явные признаки аккреции (абсорбционный компонент присутствует с красной стороны в профилях эмиссионных линий), и группа молодых звезд с новоподобными увеличениями яркости, так называемых фуоров. Наиболее заметные представители этой группы – сама FU Ori, а также Z CMa, V1515 Cyg

и V1057 Cyg. Все четыре звезды наблюдались на станции фотометрически как в оптическом, так в инфракрасном диапазонах спектра. По результатам исследований молодых звезд опубликованы десятки статей в различных российских и зарубежных журналах.

Рентгеновские двойные. Первые (после Солнца) рентгеновские источники были открыты в 60-х годах прошлого века. В то время ошибки определения координат объектов были велики и существовала проблема отождествления рентгеновских источников с их оптическими двойниками. На Южной станции для этих целей были задействованы наиболее широкоугольные инструменты – 40-см астрограф и АЗТ-5, приемниками излучения на которых были фотографические пластинки. Позднее к наблюдениям подключился В.М. Лютый, наблюдавший на телескопе Цейсс-1 с UVB-фотометром собственной конструкции. В то время советские теоретики Я.Б. Зельдович, Р.А. Сюняев, Н.И. Шакура и др. для объяснения природы рентгеновских источников разрабатывали теорию аккреции вещества на компактные объекты (белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры) и, соответственно, их интерес к наблюдениям на Южной станции был огромным.

Одним из наиболее часто наблюдаемых рентгеновских источников на Южной станции была рентгеновская двойная Cyg X-1. Поскольку нижний предел массы невидимого компонента у этой системы составляет около 15 масс Солнца (что гораздо выше верхнего предела массы для нейтронных звезд), то этот объект считается одним из самых надежных кандидатов в черные дыры. Многолетние наблюдения на UVB-фотометре (В.М. Лютый, Н.В. Метлова, И.Б. Волошина) позволили выявить несколько составляющих, дающих свой вклад в вариации блеска в оптическом диапазоне: приливно-дефор-

мированная форма вторичного компонента, его собственная переменность блеска, а также прецессия аккреционного диска.

Еще одним давним объектом наблюдений на телескопах южной станции является уникальная система SS433 (первый открытый микроквазар). Эта система знаменита наличием двух противоположно направленных прецессирующих релятивистских струй (джетов), бьющих вдоль оси вращения компактного объекта со скоростями ~80 000 км/с. SS433 в разное время наблюдалась на всех телескопах станции. Особое значение имеют многолетние ряды многоцветных фотометрических наблюдений, а также проводящийся начиная с 1992 г. спектральный мониторинг на телескопе ЗТЭ (В.Ф. Есипов).

Многочисленные другие рентгеновские двойные наблюдаются на телескопах Цейсс-1, Цейсс-2 и АЗТ-5 В.П. Горанским, С.Ю. Шугаровым, И.Б. Волошиной, Т.Р. Ирсамбетовой и др. Причем наблюдаются не только рентгеновские источники, постоянно присутствующие на рентгеновском небе, но и рентгеновские транзиенты (объекты, которые светят в рентгеновском диапазоне от нескольких минут до нескольких месяцев). Данные наблюдений, полученные на станции, регулярно используются для построения и уточнения теоретических моделей рентгеновских двойных.

Сейфертовские галактики и активные ядра галактик. Сейфертовская галактика – это галактика, в которой выделяется яркое звездообразное ядро, и в ее спектре наблюдаются сильные и широкие линии излучения. Назван этот класс объектов в честь астронома Карла Сейферта, впервые их описавшего в 1943 г. Исследования сейфертовских галактик на Южной станции ГАИШ были начаты в 1966 г. Э.А. Дибам и Г.В. Зайцевой, которые на телескопе

ЗТЭ начали проводить фотометрические наблюдения в фильтрах UBVs целью изучения распределения поверхностной яркости по дискам галактик. Позднее к наблюдениям подключился В.М. Лютый. Большую работу по измерению красных смещений у сейфертовских галактик проделали Э.А. Дибай, В.Ф. Есипов и М.А. Аракелян.

Наблюдения показали, что все исследуемые сейфертовские галактики – переменные объекты. Причем основным источником переменности является обладающее УФ-избытком ядро галактики. На кривых блеска можно было выделить по крайней мере две составляющих: быструю (в виде вспышек с характерным временем развития в десятки дней) и медленную (с временной шкалой переменности несколько лет). В то время уже начинала разрабатываться модель аккреции вещества на сверхмассивную черную дыру, находящуюся в центре сейфертовской галактики. Важной для теоретиков величиной являлось минимальное время переменности, исходя из которого, оказалось возможным оценить минимальный размер источника переменности.

Одними из самых важных работ по ядрам активных галактик, выполненных на Южной станции ГАИШ, были работы В.М. Лютого и А.М. Черепашука по исследованию переменности потока в линии водорода $H\alpha$ и в прилегающем к линии непрерывном спектре, начатые в 1970 г. Для своих наблюдений на Южной станции Лютый и Черепашук использовали специальный электрофотометр с узкополосным интерференционным клиновидным зелено-красным фильтром на диапазон длин волн 565–692 нм. Оказалось, что изменения потока в линии $H\alpha$ запаздывают по сравнению с изменениями потока непрерывном спектре на характерное время ~10 суток. Этот эффект был интерпретирован авторами как признак того, что излучение в непрерыв-

ном спектре и излучение в линии водорода рождаются в разных областях галактики. Причем переменность потока в континууме приводит к переменности потока в линии, а время запаздывания является характерным временем, за которое свет доходит от источника ионизирующего излучения до области, в которой формируются эмиссионные линии. Со временем, по мере накопления спектральных данных, были сделаны оценки плотности, температуры, массы центрального тела и окружающего газа, кинетической энергии, оценки характерных размеров и времени жизни ядер, вошедшие в каталог Дибая, насчитывающий 105 галактик с активными ядрами.

В 1988 г. Южная станция приняла участие в 13-летнем международной проекте AGNWatch. Программа была нацелена на наиболее точное определение времени запаздывания излучения в различных эмиссионных линиях по отношению к излучению в континууме для сейфертовской галактики NGC5548. Нужны были очень плотные ряды наблюдений в широком диапазоне длин волн. Все это потребовало объединенных усилий множества астрономов из 20 обсерваторий, расположенных по всему миру. Была исследована переменность объекта, а также проведены исследования структуры области формирования различных линий (ионная стратификация).

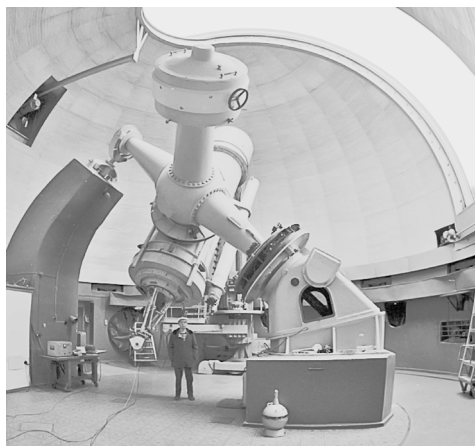
В восьмидесятых годах к фотометрическому исследованию галактик с активными ядрами подключилась В.Т. Дорошенко, которая на телескопе ЗТЭ совместно с В.Ю. Теребижем, А.Э. Дибаем и К.А. Постновым получила оценки блеска в фильтрах UBVR для примерно 130 галактик. Также В.Т. Дорошенко провела более чем 20-летний (1987–2009 гг.) мониторинг десятка сейфертовских галактик с целью определения долгопериодической переменности. Позднее к наблюдениям

присоединились сотрудники станции В.Г. Метлов и Т.Р. Ирсамбетова.

Нужно отметить тот факт, что две сейфертовские галактики наблюдались на Южной станции не только в оптическом, но и в ИК-диапазоне (ЗТЭ, InSb фотометр, наблюдатели О.Г. Таранова и В.И. Шенаврин). Это NGC4151 (начало наблюдений в 1984 г.) и NGC1068 (1998 г.). ИК-наблюдения для обеих галактик продолжаются и в настоящее время. Обе галактики оказались переменными в ИК-диапазоне. Активное галактическое ядро окружено пылевой оболочкой, которая не только поглощает излучение центрального не-теплого источника, но и сама излучает в ИК-области. Было показано, что в случае NGC4151 оболочка имеет форму тора. Были определены времена запаздывания излучения в ИК-диапазоне по отношению к излучению в оптическом диапазоне.

Длительные ряды однородных наблюдений, полученные на Южной станции, не раз использовались в совместных работах с зарубежными коллегами в проектах, включавших в себя весь спектральный диапазон (от гамма до радио). Совместные усилия астрономов разных стран уже помогли прояснить многое в природе активных ядер галактик. Но наблюдения многих сейфертовских галактик, сделанные на Южной станции в Крыму, еще ждут обработки и осмысления.

Объекты Солнечной системы. Спектральные наблюдения объектов Солнечной системы на Южной станции ГАИШ были начаты еще в 1963 г. В.И. Морозом, который на 1.25-м телескопе ЗТЭ примерно в течение двух лет проводил инфракрасную спектроскопию Луны и галилеевых спутников Юпитера в диапазоне длин волн 0.7–2.5 мкм. В результате этой работы В.И. Морозом было впервые показано наличие водяного льда на поверхностях Европы, Ганимеда и Каллисто,



1.25-м телескоп ЗТЭ с А-спектрографом и его конструктором и основным наблюдателем В.Ф. Есиповым (начало 2000-х годов)

что имело важное значение для последующих исследований. Как известно, позднее космические зонды «Voyager» (NASA, конец 70-х – середина 80-х годов XX в.) и «Galileo» (NASA, с 1995 по 2003 г.) позволили обнаружить на этих спутниках не только массивную ледяную кору, но и признаки внутренних водных океанов.

В 1986 г. на Южной станции В.В. Бусаревым были начаты регулярные спектрофотометрические наблюдения Луны и других безатмосферных небесных тел Солнечной системы (астероидов и галилеевых спутников Юпитера) в видимом диапазоне. Для этих наблюдений сначала использовался телескоп Цейсс-2 со сканирующим спектрофотометром системы Черни–Тернера, а с 1990 г. спектральные наблюдения проводятся на телескопе ЗТЭ. Наблюдения Луны имели конкретную цель – поиск на лунной поверхности областей, богатых ресурсными материалами, в соответствии с проектом создания лунной базы.

В 2003–2010 гг. были проведены наблюдения 43 астероидов, и впервые



60-летие станции

было показано, что у многих астероидов наблюдаются вариации состава вещества по поверхности. Этот фактор необходимо учитывать при оценке размеров астероида фотометрическим методом. Кроме того, определение физико-химических характеристик астероидов имеет первостепенное значение для успешного решения проблем космогонии Солнечной системы. Это связано с тем, что за все время существования нашей планетной системы (около 4.5 млрд лет) химический состав астероидов подвергся минимальным эволюционным изменениям (в отличие от вещества больших планет). То есть астероиды содержат информацию о наиболее ранних этапах развития Солнечной системы.

Помимо описанных наблюдений тел Солнечной системы на телескопе ЗТЭ (с А-спектрографом – В.Ф. Есиповым и А. А. Мартысем и ИК-фотометром – И.А. Маловым) эпизодически наблюдались и такие интересные и красивые

объекты, как кометы. Кроме этого, по своей инициативе и на собственноручно изготовленных небольших телескопах сотрудником станции Г.В. Борисовым проводились наблюдения с целью открытия новых комет. К настоящему времени ему удалось открыть 9 новых комет, получивших его имя. Это делает его самым удачливым ловцом комет в России. Самая известная из открытых им комет – межзвездная комета 2I/Borisov.

ПЕРСПЕКТИВЫ

Сегодня в мире работают несколько десятков телескопов с диаметром зеркала свыше 2 м, при этом 13 из них имеют диаметр 8 и более метров. По этим меркам инструменты Крымской астрономической станции относятся к категории небольших. Тем не менее и они позволяют проводить востребованные наукой наблюдения. В первую очередь это длительный

мониторинг нестационарных объектов в оптическом (0.4–1 мкм) и инфракрасном (1–5 мкм) диапазонах, который из-за дороговизны наблюдательного времени не могут себе позволить проводить крупные инструменты. Здесь представляются интересными совместные наблюдения с Кавказской горной обсерваторией ГАИШ. Например, наблюдения за чрезвычайно интересной звездой PU Vul ведутся на инструментах станции уже 40 лет. А поскольку эта система долгопериодическая (и даже, невзирая на орбитальный период в 13.4 года – затменная), и к тому же испытала в 1978 г. крайне медленную вспышку, то длительные ряды однородных наблюдений крайне важны для построения теоретических моделей объектов такого рода.

Перспективы развития станции связаны с решением двух основных проблем – проблемы старения наблюдателей, непосредственно проживающих в пос. Научный, и проблемы старения оборудования.

Первая проблема, она, кстати, является общей с нашими соседями – Крымской астрофизической обсерва-

торией, проистекает из-за отсутствия жилищного фонда. Из-за этого трудно прельстить молодого выпускника университета переселиться в пос. Научный, и десятки лет обновление рядов наблюдателей происходит только с помощью командированных из Москвы сотрудников ГАИШ.

Проблема обновления оборудования должна решаться по нескольким направлениям – это модернизация старых и установка новых телескопов, а также использование более эффективных навесных приборов. Например, повышение световой эффективности спектрографа в 4 раза эквивалентно замене 1.25-м телескопа на 2.5-м! В планах ГАИШ на ближайшие годы присутствует продвижение по всем этим направлениям. Планируется проведение глубокой модернизации главного телескопа станции – 1.25-м телескопа ЗТЭ, установка нового фотометрического телескопа метрового класса, разработка и изготовление нового спектрографа, приобретение современных ПЗС-камер на все телескопы станции. Надеемся, что всем планам будет суждено осуществиться.

Реклама

Издательство предлагает услуги по редакционно-издательской подготовке материалов, сборников, а также весь комплекс полиграфических услуг

Издательство «Наука» готово оказать услуги под ключ по организации и проведению семинаров, конференций, презентаций, выставок в конференц-залах и на экспозиционных площадках издательства по адресам:

г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1
Московская обл., г. Люберцы, Октябрьский пр-т, д. 403

По всем интересующим вопросам обращайтесь по тел.: +7(495)276-7735
Подробная информация на сайте www.naukaphish.ru/history/partnership

«ЧЕЛОВЕКУ НУЖЕН ЧЕЛОВЕК»¹ (к 100-летию со дня рождения Станислава Лема)

САЖИНА Ольга Сергеевна,

доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

DOI: 10.7868/50044394821050078

Станислав Лем (12.09.1921–27.03.2006) – польский писатель-фантаст, футуролог и философ. Родился в г. Львов (Польша). Его произведения переведены более чем на 40 языков. В честь Станислава Лема назван астероид 3836 Лем, первый польский искусственный спутник «Лем», а также улицы – в Кракове и Величке.

Наверно, не совсем правильно говорить, что творчество великого польского писателя-фантаста Станислава Лема открывается для читателей с его философских притч «Кибериада» и «Сказки роботов», хотя они и написаны в манере сказочного повествования, со всеми полагающимися героями, принцессами и даже драконами. Герои здесь не только рыцари, но еще творцы-конструкторы – Трурль и Клапауциус. Они не люди и не роботы, живут и активно действуют в мире, похожем и не похожем на привычный космос. Непринужденность, с которой конструкторы обходятся с пространством и временем, с живыми и неживыми существами, зачастую стирая грань между понятиями живого и неживого, завораживает смелостью фантазии и непохожестью на все то, что причисляется к жанрам фан-



Станислав Лем.

Автор: Всеволод Тарасевич. Дата съемки: 1963–1964. Источник: Мультимедия арт-музей, Москва. Московский дом фотографии. Сайт: <http://mamm-mdf.ru>

тастики и сказочной *fantasy*. Именно поэтому «Кибериада» (и еще, конечно, «Солярис», во многом, впрочем, благодаря экранизациям) – произведение, которое одним из первых ассоциируется с именем Станислава Лема, оставляя на всю жизнь удивление и восхищение безграничной фантазией мастера. Сам Лем, бу-

¹ Лем С. Солярис // Собр. соч. в 10 т. Т. 2. М.: Текст, 1992. 400 с.

дучи в 60-х годах в Москве, в беседах со студентами и преподавателями Московского государственного университета и Московского авиационного института отзывался об этой части своего творчества всего лишь как о забавной литературной игрушке.

Читатели приходят к мирам Станислава Лема по-разному. Кого-то привлекает реалистичный спокойный профессионализм пилота Пиркса, глазами которого Солнечная система становится местом обыкновенной каждодневной, хоть часто и очень тяжелой работы. Кто-то в восторге от искрометных фраз «космического барона Мюнхгаузена» – Ийона Тихого, не миновавшего ни одной пространственно-временной заварушки. Есть читатели, ностальгирующие по ушедшим иллюзиям всемирного счастливого будущего, описанного со множеством технических подробностей в ранних произведениях Лема. «Астронавты» и «Магелланово облако» роднят писателя с миром Полудня братьев Аркадия и Бориса Стругацких, которых Лем очень высоко ценил. Наконец, очень многих привлекают футурологические работы Лема – и художественные произведения, и публицистика. Здесь следует особо отметить трактат «Сумма технологий» (и его логическое продолжение – сборник «Молох»), посвященный обсуждению проблем и путей эволюции в самом широком понимании, куда включаются не только живые организмы, но и порождения стремительно летящей в будущее научной и конструкторской мысли человечества.

Современное поколение читателей, которое несравненно лучше своих предшественников – как в теории, так и на практике – осведомлено о виртуальных мирах и об искусственном интеллекте, откроет в произведениях Лема что-то



Станислав Лем на встрече со студентами и преподавателями МГУ.

Автор: Всеволод Тарасевич. Дата съемки: 1963–1964. Источник: Мультимедия арт-музей, Москва/Московский дом фотографии; сайт: <http://mamm-mdf.ru>

свое. Видение мира великим писателем-фантастом никогда не устаревает, но напротив, блистает новыми красками по мере того как сбываются – иногда пугающе часто – его прозорливые футурологические прогнозы.

«Я всегда удирал в космос»², – говорил о себе Станислав Лем, и даже после «Возвращения со звезд» на Землю он снова туда удирал. Но с какой целью? За красотами Вселенной, которые еще никогда не открывались человеческому взору? Или ради поиска иного разума и иных форм жизни, что было особенно популярно в среде фантастов того времени? Вовсе нет. Как ни парадоксально, побег в космос был нужен для того, чтобы найти там самого себя: бросить вызов природе, испытать собственные физические силы и силу воли. Другими словами, чтобы найти, раскрыть в себе настоящего человека, коль скоро родная Земля оказалась глубоко пораженной всяческими болезнями, например «бетризацией»,

² Лем С. Я всегда удирал в космос / Записал В. Туровский // М.: Известия, 1996. 16 марта. С. 4.

как в романе «Возвращение со звезд», где люди добровольно подвергли себя «эмоциональной кастрации», лишившись, тем самым, инстинкта продолжения рода.

Сам по себе космос – это холодная бесконечная пустота и смертельный жар звезд, и для жизни человека он не предназначен. В таком подходе видится отрицательный ответ мечте русских космистов и с энтузиазмом подхватившим и переиначившим в прагматичное русло их идеи западным основателям современной философии «*ню эйдж*»³. По Лему, нет и не может быть никакой гармонии человека и космоса. Так что если и следует что-то там поискать, то только самого себя. Даже в сказках Лема космос не добр, хотя и не зол. Космос – просто искусная игрушка, урчащая механическая шкатулка из блестящей латуни с торчащими вольфрамовыми проводками, набитая диодами и триодами.

История о планете Солярис – это напористая, преисполненная гордыни, но совершенно безрезультатная попытка понять чужой, нечеловеческий разум. Ничто, даже десятилетиями развивавшаяся строгая наука соляристика ни на шаг не приблизила человечество к цели, хоть к какому-то понятному человеческой логике контакту с «разумным» океаном.

Идея непреодолимой инаковости инопланетного разума, наиболее ярко представленная в «*Солярисе*», присутствует и во многих других произведениях Лема. За поразительными конструкторскими решениями автора в «придумывании» разумной жизни – раса микроскопических роботов в «*Непобедимом*», биологические двутелы в «*Эдеме*» – все та же идея о невозможности продуктивного контакта и взаимной пользы.

³ Дворкин А. Сектоведение. Нижний Новгород: Изд. братства во имя св. князя Александра Невского, 2003. 813 с.

– Ты действительно не умрешь! Мы тебя действительно вылечим! – воскликнул Доктор. – Скажи, что ты хочешь сделать, когда будешь здоров?

Калькулятор заскрипел, двутел ответил одним звуком, таким коротким, что он был едва слышен.

– Нуль, – как бы колеблясь, сказал репродуктор.

И через мгновение добавил, словно неуверенный, что его правильно поняли:

– Нуль. Нуль.

...

– Я спросил его, можем ли мы что-нибудь для них сделать. Для всех.

– И что он сказал?

– Нуль, – медленно повторил Доктор, и всем показалось, что они слышат мертвый голос калькулятора⁴.

Кульминации эта идея достигает в романе «*Фиаско*». Пилот Пиркс, посвятивший жизнь космосу, всегда оставался подчеркнуто человеческим, порядочным. Он, не мысливший себе другой профессии кроме космического навигатора, никогда не пытался «слиться с космосом» в головокружительных идеях о вседозволенности, о божественной мощи человека. Он знал свое место. И казалось бы, кто, как не он, сможет придать положительный образ всему тому, что связано с космосом? Но именно он, в последний раз появившийся перед читателем в романе «*Фиаско*», потерпел поражение в попытке установить контакт с иным разумом. Раз Пиркс не смог, значит, и никто не сможет... «*Глас Господа*» никогда не будет расшифрован.

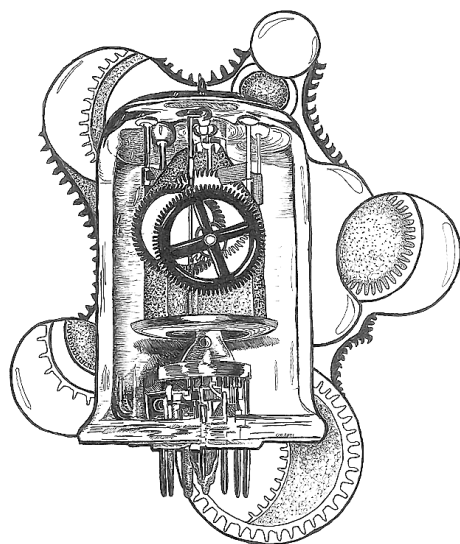
Побег в космос не спасет и от проблем на Земле. Все равно однажды придется вернуться и пытаться эти проблемы решать, даже если это окажется подобным абсурдному блужданию персонажа из «*Рукописи, найденной в ванне*», и даже если станут бессильными мате-

⁴ Лем С. Эдем // Собр. соч. в 10 т. Т. 1. М.: Текст, 1992. 416 с.

матические модели, как это показано в «Расследовании».

По Лему, уже упомянутая грядущая «бетризация» – далеко не единственная проблема человечества. Совершенно реальна борьба за ресурсы, в последние десятилетия не только природные, но и информационные, связанные с накоплением, обработкой, владением и использованием «больших данных» (big data) о людях. В частности, Лем обсуждал проблему перенаселенности и в своей сатирической манере предлагал варианты ее решения: «...Разработана модель жилого здания в восемьсот этажей. С родильными клиниками, яслями, школами, магазинами, музеями, зоопарками, театрами, кинозалами и крематориями; предусматривались подземные помещения для погребальных урн, телевидение на сорок каналов, опохмелители и вытрезвители, залы на манер гимнастических для занятий групповым сексом, что свидетельствует о передовых убеждениях проектировщиков, а также катакомбы для субкультурных групп неконформистского толка... Вдобавок, это здание намечалось снабдить matrimониальным компьютером садомазохистского образца, так как по данным статистики, пары садистов с мазохистками, и наоборот, наиболее устойчивы ... Цикл жизнеобеспечения частично замкнутый; все выделения, не исключая предсмертного пота, подлежат регенерации...». А еще «уговоры, судебные приговоры, дезертизация, принудительная целибатизация, онанизация, строгая изоляция, а для упорствующих – кастрация»⁵. Увы, не все указанные методы выглядят в современном мире настолько уж фантастическими.

Таким образом, попытка решать проблемы человеческой цивилизации



Мир глазами Конструктора. Автор:
О.С. Сажина. 2021.

переходит просто в констатацию многих из них. Другими словами, будет как будет, и ничего исправить нельзя.

Что же остается? Остается тонкая, а иногда и очень злая сатира над попытками человека изменить своей природе, над парадоксами и проблемами клонирования и телепортации, над абсурдными и тупиковыми идеями трансформации человеческого тела. Лем не обходит стороной и такую животрепещущую среди научно-технической интеллигенции тему как «технологическая сингулярность» и ее последствия:

Эти строки я пишу на глиняных табличках, сидя перед своей пещеркой. Раньше я часто задумывался, как же это делалось в Вавилоне, но никак не мог предположить, что мне самому придется этим заняться. Тогда, наверное, глина была лучше, а может быть, клинопись больше подходит для такого случая⁶.

⁵ Лем С. Футурологический конгресс // Собр. соч. в 10 т. Т. 8. М.: Текст, 1992. 477 с.

⁶ Лем С. Из воспоминаний Ийона Тихого // Собр. соч. в 10 т. Т. 7. М.: Текст, 1992. 427 с.

Лем пользуется иронией как инструментом, чтобы, подобно средневековому нидерландскому художнику Иерониμου Босху, гротескно представить уродство и ущербность тех, кто так или иначе отказывается быть человеком. Где настоящий человек, когда есть десять клонов? Можно ли законно убить девятерых и оставить только одного? А разум в жестяной коробке – это человек или нет? *«От человека оставался один только мозг в изящной упаковке из дюропласта. Обмен веществ предполагалось перевести на ядерный уровень. Промышленность завалит рынок манипуляторами, педикуляторами, гастропуляторами, а также головороллерами»*⁷. Что, наконец, есть мораль и нравственность для искусственного интеллекта и есть ли она вообще?

Босх своими яркими и насыщенными картинами ада словно кричал, «не ходите туда!» Лем не так категоричен. Ведь то, что может быть изобретено, обязательно будет изобретено. Нельзя запретить научные исследования, нельзя закрыть открытия или предотвратить все влекомые ими последствия.

Читатель волен сам давать оценку, хороши или плохи для развития человечества футурологические прогнозы Лема. Однако нельзя не отметить, настолько они точны, и как современно звучат, к примеру, проблемы виртуальной реальности, сформулированные писателем еще в 60-е годы в *«Сумме технологий»*, когда не существовало даже соответствующего устоявшегося термина.

Что же начинает играть доминирующие роли в человеческой цивилизации в современном мире? Виртуальная реальность, которая так легко может воплотить в жизнь «масконы» из *«Футурологического конгресса»*, и полностью подменить собой жизнь реальную. Идеи трансгуманизма, провозгла-

шающие абсолютным благом любые эксперименты над человеческим телом и разумом ради будущего бессмертия, оставляя за рамками этические вопросы подобных трансформаций. Если освободить человека от работы, сделать его здоровым и, в конце концов, бессмертным, то обретет ли он счастье? Разве освобожденные от работы люди тут же станут заниматься высокой наукой, писать картины, симфонии и литературные произведения? Вряд ли. Но, быть может для трансгуманистов счастье – это известное состояние кадавра из произведения Аркадия и Бориса Стругацких *«Понедельник начинается в субботу»*: у меня нет никаких духовных запросов и я счастлив...

Проблемы морального и этического плана частично людей, частично искусственных систем встают со все большей остротой, перебираясь из научно-фантастических романов Лема в реальную жизнь. Наконец, в современном мире на арену выходит и «псивилизация» Лема. *«...Развитие цивилизации не могло пойти по другому пути с тех пор, как на смену наркотикам и прагаллюциногенам пришли так называемые психолокализаторы с высокой избирательностью воздействия»*⁸. По Лему, настоящий переворот совершится тогда, когда будут синтезированы «масконы», или пуантогены, – то есть точечные галлюциногены, которые однажды заслонят собой весь мир. Зачем что-то создавать, если можно с помощью «масконов» внушить, что уже обладаешь желаемой вещью? Наступит момент, когда никто не сможет проверить, подвергается ли он в данную секунду действию «масконов» или нет. Все будут жить в мире иллюзий, «скользить» по явлениям, не в силах проникнуть в их реальную сущность – так называемое «следовое восприятие реальности» у представителей школы постмодернистов. Здесь не лишне заметить, что культовый фильм

⁷ Лем С. Футурологический конгресс // Собр. соч. в 10 т. Т. 8. М.: Текст, 1992. 477 с.

⁸ Там же.

«Матрица» полностью позаимствовал идею из «Футурологического конгресса» Лема, но этот факт совершенно не известен американским обывателям, на книжных прилавках которых из всех произведений Станислава Лема можно обнаружить только сценарий к американской экранизации «Соляриса». Что же тогда удивляться, что многие предупреждения великого футуролога остаются незамеченными. Хотелось бы все же надеется, что футурологические прогнозы Лема избегнут участи предсказаний Кассандры, что они будут услышаны и учтены и сейчас, и еще сто лет спустя.

Космос никогда не исчезал из творчества писателя, но со временем все больше становился просто фоном для его не знающего преград грандиозного социологического моделирования. Лем словно расширяет Землю до вселенских масштабов: *«Полагать, будто космос был ничейным пространством,*

*не зная правовых норм, сфер влияния, проектов бюджетов, охранительных пошлин, пропаганды и дипломатии, пока там не появилось человечество, – значит уподобляться младенцу, которому кажется, что, пока он не сделал первой кучки, никто этого не умел»*⁹.

В бравом космическом первопроходце Ийоне Тихом все меньше юмора и все больше усталой печали. Его, как такого сумасшедшего шарманщика из песни Александра Вертинского, носит по всей Вселенной, от края до края, но везде он находит лишь бесконечные отражения нерешенных проблем человеческой цивилизации. *«Мы – осенние листья, нас всех бурей сорвало. Нас всё гонят и гонят ветров табуны. Кто же нас успокоит, бесконечно усталых, кто укажет нам путь в это царство весны?»*

⁹ Лем С. Осмотр на месте // Собр. соч. в 10 т. Т. 8. М.: Текст, 1992. 477 с.



**ИЗДАТЕЛЬСТВО
НАУКА
1727**
naukapublishers.ru

ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ПЕРЕПЛЕТ

Рисунок на коже
Все виды тиснения
Кожаный переплет
Рельефное тиснение
Клише любой сложности
Полноцветная роспись обзоров
А также адресные папки, дипломы, футляры

Берёмся за работы любой сложности!
По всем интересующим вопросам пишите на почту kiseleva@tnauka.ru

реклама

EARTH & UNIVERSE

5 (341), 2021
September–October

TABLE OF CONTENT:

Olga N. SOLOMINA Editorial	3
Lev V. DESINOV Natural Disasters in Caucasus Mountains from the International Space Station	5
Andrey A. MEDVEDEV, Natalya A. ALEKSEENKO, Natalya O. TELNOVA, Arseny V. KUDIKOV, Bashir M. KURAMAGOMEDOV Western Caspian Under Scrutiny	21
Viktoria V. ZORINA Analysing the Relief with 2D Images: Aerospace Photos to Study the Dangers In Highlands	38
Evgeny A. LUPIAN, Andrey A. PROSHIN, Mikhail A. BURTSEV <i>IKI-Monitoring</i> Centre for Collective Use: New Ways to Use Earth Remote Sensing Technologies	48
 HISTORY OF SCIENCE	
Leonid A. VEDESHIN, Sergey A. GERASYUTIN Development of the National Meteorological System (to 60 th Anniversary of the Development of the Meteorological Spacecraft In the USSR)	63
 OBSERVATORIES, INSTITUTES	
Evgeny A. KOLOTILOV, Anna A. TATARNIKOVA E.A. Dibai Crimean Astronomical Station of Sternberg Astronomical Institute of Lomonosov Moscow State University: History and Prospects	81
 LITERARY SPACE	
Olga S. SAZHINA “We are only seeking Man” (to the 100 th Birthday of Stanislaw Lem)	102
Table of Content and Selected Abstracts	108

Front page:

Earth from space, the image was taken by Valery Tokarev (ISS-12) from the ISS as part of *Uragan* experiment. The image is provided by the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences.

Natural Disasters in Caucasus Mountains from the International Space Station

Lev V. DESINOV

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences

DOI: 10.7868/S0044394821050017

Uragan space experiment on board the International Space Station is dedicated to monitor the environment and natural disasters. It started in 2001. Institute of Geography is the leading scientific organization of the program. Its researchers accept the applications for the survey, develop the program of the research, teach the cosmonauts. They also are engaged in acquisition and quick processing of the incoming images, their geographic connection, immediate transfer of the significant information, and cataloging. Today the collection of the images is nearing the 600 thousand items. In the paper we present two case studies of natural disasters in the mountains, giving an example in support of the very high urgency of the program.

Western Caspian Under Scrutiny

Andrey A. MEDVEDEV¹, Natalya A. ALEKSEENKO², Natalya O. TELNOVA¹,
Arseny V. KUDIKOV¹, Bashir M. KURAMAGOMEDOV¹

¹ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences

² Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University

DOI: 10.7868/S0044394821050029

The significance of the Earth remote sensing from space for environmental studies can hardly be overestimated. The number of spacecraft, which routinely monitor the Earth's surface, long ago has exceeded one hundred, and space data archives are measured with petabytes. With the increase in the number of spacecraft systems for the Earth remote sensing the quality and the resolution of the cameras are improving, reaching today 0.3 m. Today no less than 10 spacecraft are working with the spatial resolution better than 1 meter.

However, there are many objects and processes, which can be monitored and mapped only with the data of centimetre resolution, with the combination of space-, air- and earth-based methods. Some of the phenomena and processes are still absent even on the large-scale maps, and the speed of their changes are poorly determined or completely unknown.

Analysing the Relief with 2D Images: Aerospace Photos to Study the Dangers In Highlands

Viktoria V. ZORINA

Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University

DOI: 10.7868/S0044394821050030

Dangerous processes in highlands, mud flows and avalanches above all, underlie the rapid and catastrophic changes in the terrestrial geographical environment. These phenomena hamper the life of people, who live in highlands or come there for recreation or sport. Every year thousands of tourists come to mountains, but only too often forget about how dangerous they can be. In Russia, the most attractive for tourists is the Central Caucasus, the highest part of the Greater Caucasus range between Mount Elbrus and Mount Kazbek.

We study the Bezengi Glacier basin, with the peaks of the heights up to 500 meters and the variety of the relief types, which make it the point of attraction both for trackers and sport-lovers. However, it is important to study the dangers — it can once save people's lives.

IKI-Monitoring Centre for Collective Use: New Ways to Use Earth Remote Sensing Technologies

Evgeny A. LUPIAN, Andrey A. PROSHIN, Mikhail A. BURTSEV

Space Research Institute, Russian Academy of Sciences

DOI: 10.7868/S0044394821050042

Last decades we witness the rapid development of the Earth remote sensing systems. Both the number of the spacecraft and data volume are increasing, the latter especially rapidly. The most important advancements occurred in the XXI century. Not only the capacities of the spacecraft widened in the time, but the new generation of systems appeared that allow not only qualitative, but also quantitative studies of the different processes on the Earth. These systems opened new page in space remote sensing and gave the chance to develop new, highly automatic methods to work with the Earth remote sensing data. These methods are the base of effective work with very big data, which are acquired in everyday space observations, almost everywhere on the planet.

Индекс 70336

Земля и Вселенная, 5/2021

Приглашенный редактор: О.Н. Соломина

Заведующая редакцией А.Ю. Обод

Редакторы С.А. Герасютин, О.В. Закутняя, Д.А. Кононов, О.С. Сажина

Корректор С.О. Розанова

Верстка макета Н.В. Мелкова

Просим обращаться

по вопросам публикации материалов:

(495)276-77-35 (доб. 42-31), e-mail: zevs@naukaran.com

по вопросам сотрудничества:

(495)276-77-35 (доб. 43-01 или 43-02),

e-mail: journals@naukaran.com

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом

Совета министров СССР по печати 28 июня 1991 г.

Свидетельство о регистрации № 2119

www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/

Все права защищены.

Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Все иллюстрации в статьях предоставлены авторами.

*Ответственность за точность и содержание рекламных
материалов несут рекламодатели*

12+

Сдано в набор 01.09.2021 г. Подписано к печати 25.10.2021 г.

Дата выхода в свет 30.10.2021 г. Формат 70 × 100¹/₁₆

Цифровая печать Усл.печ.л. 9.75 Уч.-изд.л. 10.0 Бум.л. 3.75

Тираж 1000 экз. Зак. 15 Цена свободная

Учредители: РАН, ФГУП «Издательство «Наука»

Редакция и издатель: ФГУП «Издательство «Наука»

Адрес: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 90

Отпечатано в типографии ФГУП «Издательство «Наука»

Адрес: 121099 Москва, Шубинский пер., 6

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "НАУКА"

ПО 50 РУБ.

акция проводится в сети магазинов "Академкнига"
и в интернет-магазине naukabooks.ru



ЕЩЕ БОЛЬШЕ КНИГ И БОЛЬШЕ СКИДОК

до 80%

акция проводится в сети магазинов "Академкнига"
и в интернет-магазине naukabooks.ru

условия акций на сайте naukabooks.ru

АкадемКнига

Букинистический отдел осуществляет покупку и продажу научной литературы, книг по искусству, антикварных изданий, старинных открыток, гравюр и фотографий

Для оценки крупных библиотек выезжаем на дом

Принимаем заказы

Формируем библиотеки

Адрес: 101000, Москва, Б. Спасоглинишевский пер., 8, стр. 4

E-mail: bukinist@naukaran.com

Справки по телефону:

8 (495) 624-7219



Реклама



НОВИНКИ И АКЦИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ



[instagram.com/naukapublishers](https://www.instagram.com/naukapublishers)



[facebook.com/naukapublishers](https://www.facebook.com/naukapublishers)



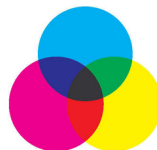
vk.com/naukapublishers



Типографии ФГУП "Издательство "Наука"
www.tnauka.ru

- переплетные работы
- тиснение фольгой
- цифровая печать
- офсетная печать
- ламинирование
- цветоделение
- сканирование
- брошюровка
- лакирование
- цветопроба
- нумерация
- высечка
- верстка
- СТР

- ▶ Разумная ценовая политика
- ▶ Высокое качество продукции
- ▶ Реальные сроки выполнения заказов
- ▶ Работа высококлассных профессионалов



- ♦ Удобное месторасположение
- ♦ Тиражи от 20 экземпляров

- афиши
- календари
- удостоверения
- адресные папки
- визитные карточки
- фирменные бланки
- брошюры, журналы
- эксклюзивные издания
- полноцветные плакаты
- художественные альбомы
- книги в твердом переплете
- листовки, рекламные буклеты
- наклейки на бумажных материалах

Москва

Санкт-Петербург

Новосибирск

